VOLUME 5
PEDOMAN
PENGGUNAAN
GEOSINTETIK UNTUK
KONSTRUKSI JALAN

Modul Pelatihan Geosintetik

VOLUME 1.
KLASIFIKASI & FUNGSI GEOSINTETIK

Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

Kata Pengantar

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009 serta pedoman dan spesifikasi geosintetik untuk filter, separator dan stabilisator.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil filter.

Modul Volume 1 ini merupakan pengantar dari modul-modul selanjutnya yang berisi gambaran umum jenis geosintetik, fungsi dan aplikasi geosintetik serta sifat-sifat geosintetik. Pada modul ini, jenis geosintetik diterangkan secara rinci mulai dari segi bentuk fisik, deskripsi polimer pembentuknya hingga proses produksinya. Sehubungan dengan fungsi dan aplikasi geosintetik, modul ini memberikan gambaran konsep dasar untuk mensimulasikan kondisi lapangan ke dalam pengujian laboratorium agar Peserta Pelatihan dapat menentukan jenis pengujian yang dibutuhkan ketika terlibat dalam desain atau konstruksi dengan geosintetik.

Modul ini juga mencakup hal-hal mendasar yang perlu dipahami ketika menangani geosintetik, diantaranya penentuan jumlah benda uji untuk pengendalian mutu di lapangan, serta definisi-definisi penting yang berhubungan dengan variabilitas geosintetik.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

Tujuan

Tujuan pelatihan ini adalah agar peserta mampu memahami klasifikasi, fungsi dan aplikasi geosintetik.

Tujuan Instruksional Umum

Peserta diharapkan mampu memahami sifat-sifat geosintetik untuk dapat menentukan jenis geosintetik yang sesuai dengan fungsi dan aplikasi yang direncanakan.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

- Memahami jenis geosintetik dari segi bentuk, jenis polimer, jenis elemen dan proses pembuatannya yang berhubungan dengan sifat-sifat geosintetik yang dibutuhkan dalam desain.
- Memahami berbagai macam fungsi geosintetik, baik fungsi primer mapupun fungsi sekunder.
- Menentukan jenis geosintetik yang sesuai dengan fungsi dan aplikasi geosintetik yang direncanakan.
- Menentukan jenis pengujian geosintetik yang sesuai dengan fungsi dan aplikasi geosintetik yang direncanakan maupun dengan kondisi lapangan yang dihadapi.
- Menentukan jumlah benda uji dan parameter desain geosintetik yang representatif.

Daftar Isi

1. Klasifikasi Geosintetik 1
2. Identifikasi Geosintetik 7
   2.1. Tipe Polimer 8
   2.2. Proses Pembuatan Geosintetik 14
      2.2.1. Proses Pembuatan Geotekstil Teranyam 14
      2.2.2. Proses Pembuatan Geotekstil Tak-teranyam 17
      2.2.3. Proses Pembuatan Geogrid 18
   2.3. Soal Latihan 20
3. Fungsi & Aplikasi Geosintetik 23
   3.1. Pendahuluan 23
   3.2. Pemilihan Jenis Geosintetik 27
   3.3. Soal Latihan 31
4. Sifat-sifat Geosintetik 35
   4.1. Sifat Fisik 35
      4.1.1. Berat Jenis 36
      4.1.2. Massa per Satuan Luas 36
      4.1.3. Ketebalan 37
   4.2. Sifat Mekanik 39
      4.2.1. Kompresibilitas 39
      4.2.2. Kekuatan Tarik 40
      4.2.3. Daya Bertahan (*Survivability*) 48
      4.2.4. Interaksi Tanah dengan Geosintetik 50
   4.3. Sifat Hidrolik 52
      4.3.1. Ukuran Pori-pori Geotekstil 52

4.3.2. Permeabilitas Geosintetik.....54
4.4. Daya Tahan dan Degradasi.....57
4.4.1. Rangkak.....58
4.4.2. Durabilitas.....59
4.5. Sifat-sifat Ijin Geosintetik.....64
4.6. Pengambilan Contoh Geosintetik Untuk Pengujian.....65
4.7. Nilai Gulungan Rata-rata Minimum.....68
4.8. Soal Latihan.....72

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Klasifikasi Geosintetik 2
Gambar 1.2: Contoh Geotekstil Bersifat Lulus Air 4
Gambar 1.3: Contoh Geotekstil Bersifat Kedap Air 5
Gambar 1.4: Contoh Geogrid 6
Gambar 1.5: Contoh Geokomposit 6
Gambar 2.1: Produk Utama Polimer dari Etilen 9
Gambar 2.2: Proses Polimerisasi 10
Gambar 2.3: Jenis Serat atau Benang untuk Geosintetik 15
Gambar 2.4: Komponen Utama Alat Tenun 16
Gambar 2.5: Tipikal Geotekstil Teranyam 17
Gambar 2.6: Proses Pembuatan Geotekstil Tak-Teranyam Needle Punch 17
Gambar 2.7: Jenis Penggabungan Elemen Geogrid 18
Gambar 2.8: Proses Pembuatan Geogrid Ekstrusi 19
Gambar 3.1: Fungsi dan Aplikasi Geosintetik 25
Gambar 4.1: Uji Berat Geosintetik 37
Gambar 4.2: Uji Ketebalan Geosintetik 38
Gambar 4.3: Hubungan Kompresibilitas terhadap Tebal Geotekstil 40
Gambar 4.4: Alat Uji Kuat Tarik Pita Lebar 41
Gambar 4.5: Pengaruh Lebar Benda Uji 42
Gambar 4.6: Pengaruh Suhu terhadap Kuat Tarik 42
Gambar 4.7: Hubungan Massa Per Unit Area dan Kuat Tarik 43

Gambar 4.8: Penentuan Modulus Tangen Ofset.....44
Gambar 4.9: Modulus Sekan 45
Gambar 4.10: Sifat Kekuatan Geosintetik Tipikal.....45
Gambar 4.11: Grip Alat Uji Kuat Grab 46
Gambar 4.12: Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Kuat Tarik Grab 46
Gambar 4.13. Perilaku Kuat Sambungan terhadap Kuat Tarik Geotekstil Tanpa Sambungan 48
Gambar 4.14. Benda Uji Kuat Sobek (ASTM D 4533-91) 49
Gambar 4.15. Alat Uji Kuat Tusuk.....49
Gambar 4.16. Alat Uji Kuat Tusuk Dinamis.....50
Gambar 4.17. Kondisi Lapangan yang Membutuhkan Kuat Jebol dan Kuat Tusuk.....50
Gambar 4.18. Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Geser Langsung.....51
Gambar 4.19. Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Cabut Laboratorium.....51
Gambar 4.20. Pengujian Ukuran Pori-pori Geoteksil 53
Gambar 4.21. Daya Tembus Air Geosintetik 55
Gambar 4.22. Aliran Air Sejajar Bidang Geosintetik.....57
Gambar 4.23. Hasil Uji Rangkak dari Berbagai Jenis Polimer.....59
Gambar 4.24: Distribusi Normal Sifat Geosintetik 69

Daftar Tabel

Tabel 2.1: Unit Molekul Berulang Polimer Geosintetik 11
Tabel 2.2: Ketahanan Polimer Terhadap Faktor Lingkungan..... 13
Tabel 3.1. Identifikasi Fungsi Primer Geosintetik..... 27
Tabel 3.2. Nilai Umum Sifat Polimer 29
Tabel 3.3. Rentang Umum Sifat-sifat Geosintetik..... 30
Tabel 3.4. Sifat Penting Geosintetik sesuai Fungsinya .. 31
Tabel 4.1. Rentang Faktor Reduksi Rangkak 65
Tabel 4.2. Langkah Penentuan Contoh Geosintetik untuk Pengujian 67
Tabel 4.3: Penentuan Jumlah Contoh Uji Lot Prosedur A 68
Tabel 4.4. Penentuan Jumlah Contoh Uji Lot Prosedur B dan C 68

1 Klasifikasi Geosintetik

Geosintetik adalah suatu produk berbentuk lembaran yang terbuat dari bahan polimer lentur yang digunakan dengan tanah, batuan, atau material geoteknik lainnya sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari suatu pekerjaan, struktur atau sistem (ASTM D 4439).

Istilah geosintetik terdiri dari dua bagian, yaitu *geo* yang berhubungan dengan tanah dan *sintetik* yang berarti bahan buatan manusia. Berbagai jenis geosintetik telah digunakan di Indonesia sejak tahun 1980an. Produk yang banyak digunakan adalah geotekstil, geogrid dan geomembran.

Untuk mempermudah pemahaman tentang jenis geosintetik, Gambar 1.1 memperlihatkan pengelompokkan geosintetik yang dimulai dengan pengelompokkan berdasarkan bentuk fisik, sifat kelulusan air dan proses pembuatannya. Klasifikasi tersebut diterangkan secara ringkas di bawah ini.

Gambar 1.1: Klasifikasi Geosintetik

Berdasarkan bentuk fisik, geosintetik terbagi menjadi dua jenis yaitu tekstil dan jaring (*web*).

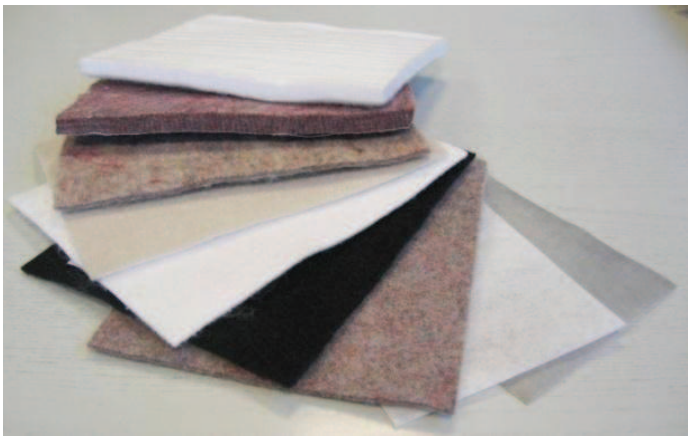
- Geosintetik berbentuk tekstil:
    - Berdasarkan sifat kelulusan air (permeabilitas), geosintetik berbentuk tekstil dapat dibagi menjadi kedap air dan lolos air. Geotekstil adalah jenis geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil. Geomembran dan *Geosynthetic Clay Liner* (GCL) merupakan jenis geosintetik kedap air yang biasa digunakan sebagai penghalang zat cair.
    - Geotekstil kemudian dikelompokkan berdasarkan proses pembuatannya. Jenis geotekstil yang utama adalah teranyam (*woven*), tak-teranyam (*non-woven*) dan rajutan (*knitted*). Proses penganyaman untuk geosintetik teranyam sama dengan pembuatan tekstil biasa. Geotekstil tak-teranyam dilakukan

dengan teknologi canggih dimana serat polimer atau filamen didesak keluar dan dipuntir secara menerus, ditiup atau ditempatkan pada suatu sabuk berjalan. Kemudian massa filamen atau serat tersebut disatukan dengan proses mekanis dengan tusukan jarum-jarum kecil atau disatukan dengan panas dimana serat tersebut "dilas" oleh panas dan/atau tekanan pada titik kontak serat dengan massa teksil tak-teranyam.

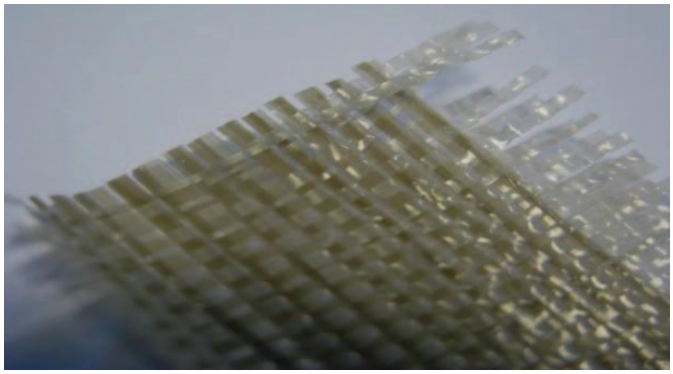
- Geosintetik berbentuk jaring (*web*) yang terdiri dari geosintetik dengan jaring rapat dan jaring terbuka.
    - Net dan matras merupakan salah satu jenis geosintetik berbentuk jaring rapat.
    - Geogrid merupakan suatu contoh dari jenis geosintetik yang berbentuk jaring *(web)* terbuka. Fungsi geogrid yang utama adalah sebagai perkuatan. Geogrid dibentuk oleh suatu jaring teratur dengan elemen-elemen tarik dan mempunyai bukaan berukuran tertentu sehingga saling mengunci (*interlock*) dengan bahan pengisi di sekelilingnya

Saat ini terdapat beberapa material yang dikombinasikan antara geotekstil dengan geomembran atau bahan sintetik lainnya untuk mendapatkan karakteristik terbaik dari setiap bahan. Produk tersebut dikenal sebagai geokomposit dan produk ini dapat berupa gabungan dari geotekstil-geonet, geotekstil-geogrid, geotekstil-geomembran, geomembran-geonet, dan bahkan struktur sel polimer tiga dimensi. Kombinasi bahan-bahan pembentuk geokomposit tersebut sangat banyak dan hampir tidak terbatas. Selain itu terdapat juga tipe-tipe geosintetik lain seperti *geosynthetic clay liner*, geopipa, geofoam,

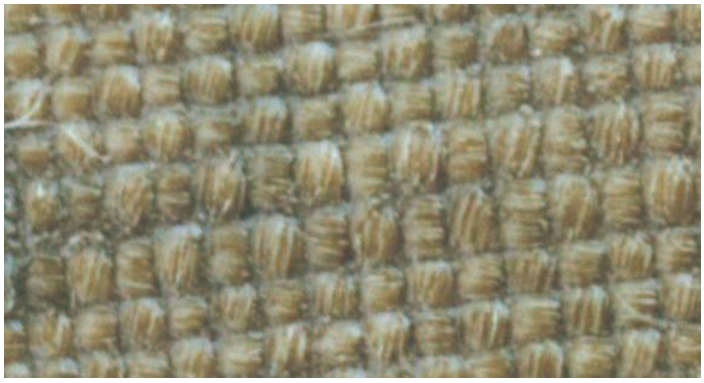
Gambar 1.2 sampai Gambar 1.5 secara berturut-turut memperlihatkan contoh geotekstil lulus air, geotekstil kedap air, geogrid dan geokomposit.



a. Tak Teranyam

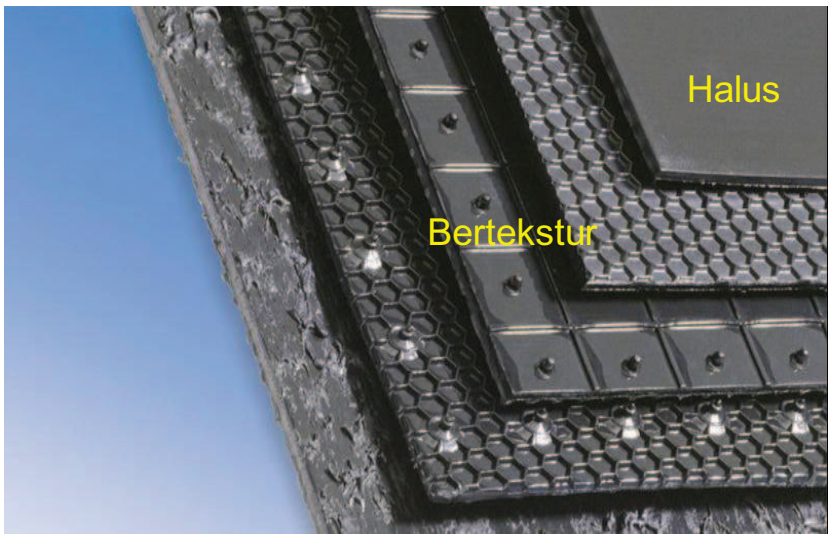


b. Teranyam

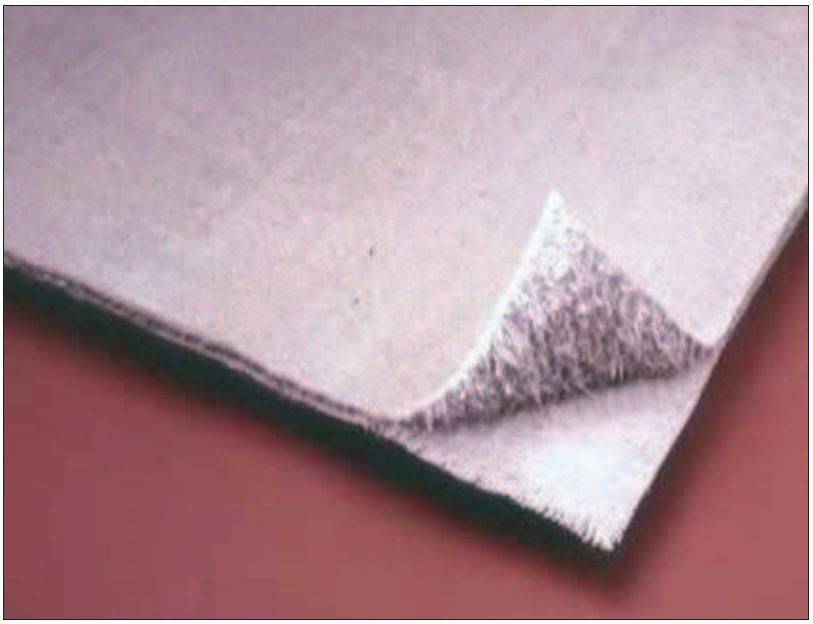


c. Rajutan

Gambar 1.2: Contoh Geotekstil Bersifat Lulus Air

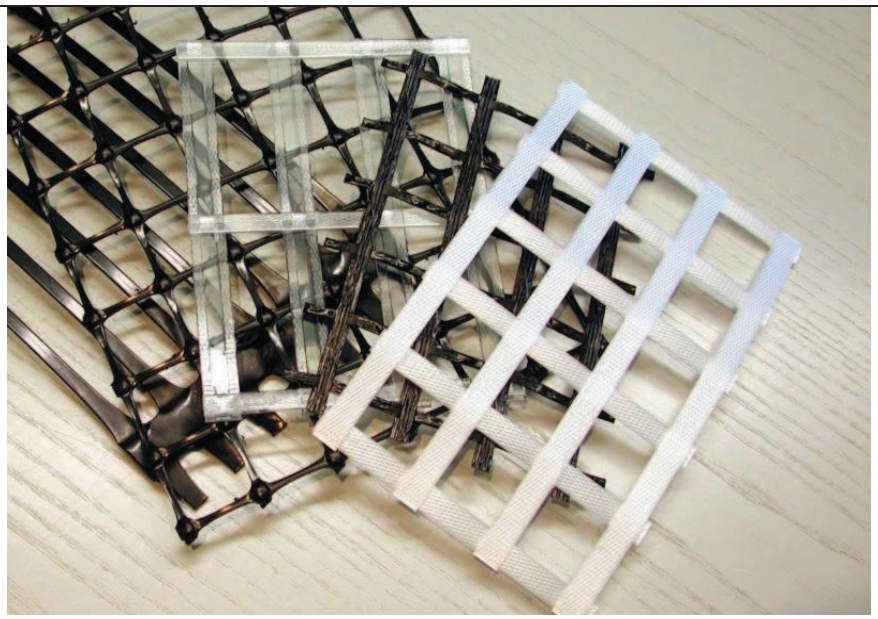


a. Geomembran

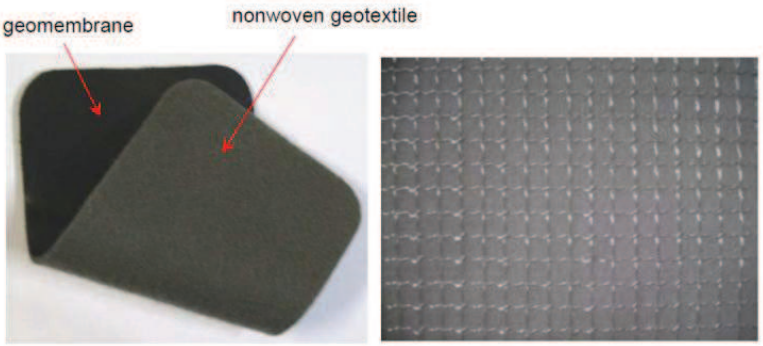


b. Geosynthetic Clay Liner

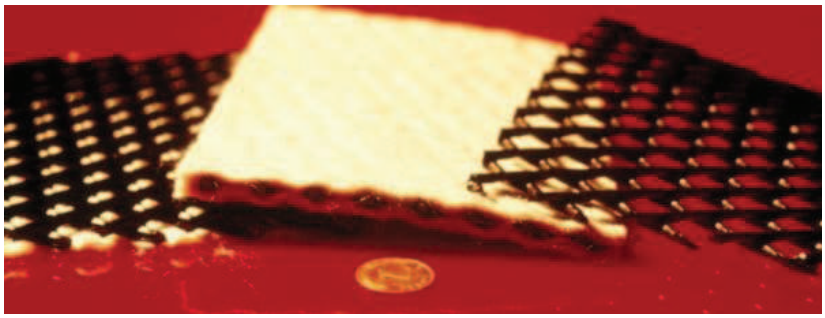
Gambar 1.3: Contoh Geotekstil Bersifat Kedap Air



Gambar 1.4: Contoh Geogrid



a. Geomembran dan Geotekstil Tak-teranyam



b. Geogrid dan Geotekstil Tak-teranyam

Gambar 1.5: Contoh Geokomposit

2 Identifikasi Geosintetik

Untuk dapat memilih geosintetik dari berbagai macam jenis geosintetik yang telah dijelaskan pada Bab 1, sangatlah penting bagi Peserta Pelatihan untuk memperoleh pemahaman dasar bagaimana tipe polimer bahan baku geosintetik dan proses produksi berpengaruh terhadap sifat geosintetik. Bab 2 ini memberikan penjelasan mengenai tipe polimer, tipe elemen dan proses pembuatan geosintetik.

Pada umumnya geosintetik dapat diidentifikasi berdasarkan:

- Tipe polimer (definisi deskriptif, misalnya polimer berkepadatan tinggi, polimer berkepadatan rendah);
- Tipe elemen (misalnya filamen, tenunan, untaian, rangka, rangka yang dilapis);
- Proses pembuatan (misalnya teranyam, tak teranyam dan dilubangi dengan jarum, tak teranyam dan diikat dengan panas, diperlebar atau ditarik, dijahit, diperkeras, diperhalus);
- Tipe geosintetik primer (misalnya geotekstil, geogrid, geomembran);
- Massa per satuan luas (untuk geotekstil, geogrid, *geosynthetic clay liner*, dan geosintetik penahan erosi) dan atau ketebalan (untuk geomembran);

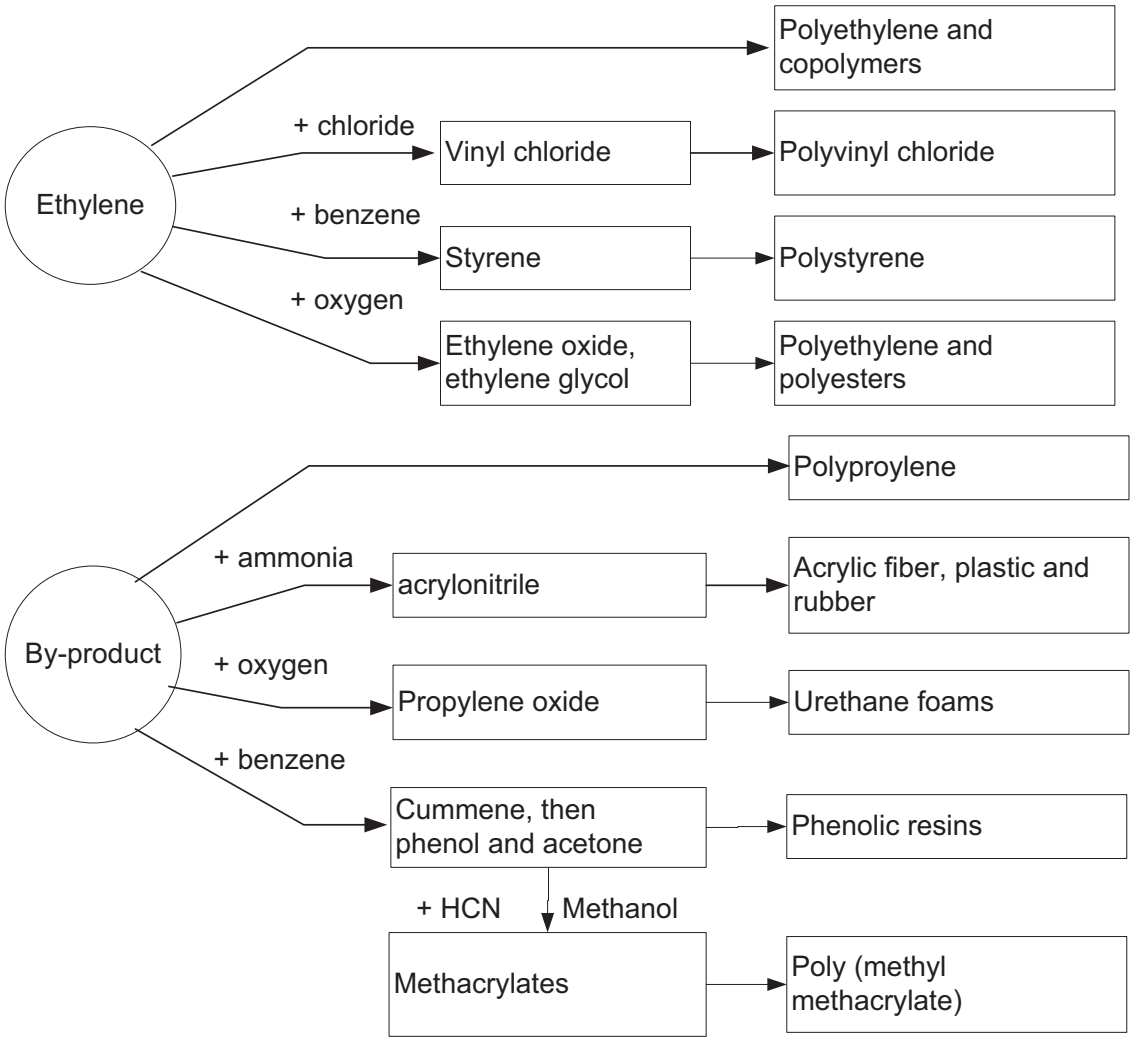
- Informasi tambahan atau sifat-sifat fisik lain yang dibutuhkan untuk menggambarkan material dalam aplikasi tertentu;

Contoh penulisannya adalah sebagai berikut:

- Geotekstil tak teranyam dan dilubangi dengan jarum yang terbuat dari filamen perekat polipropilena (*polypropylene staple filament needle punched nonwoven geotextile*), 350 G/M2 (0.35 Kg/M2);
- Geogrid biaksial yang terbuat dari polipropilena (*polypropylene extruded biaxial geogrid*).

2.1. Tipe Polimer

Bahan baku dasar untuk hampir semua polimer yang digunakan untuk membuat geosintetik adalah gas etilen. Etilen diperoleh dari pemecahan panas bahan baku hidrokarbon (umumnya dari nafta). Nafta merupakan produk destilasi dari minyak atau tar batu bara. Etilen tersebut direaksikan dengan katalis untuk membentuk partikel yang disebut lempengan (*flake*) dalam suatu kilang penyulingan. Gambar 2.1 memperlihatkan produk-produk utama yang dihasilkan dari etilen.

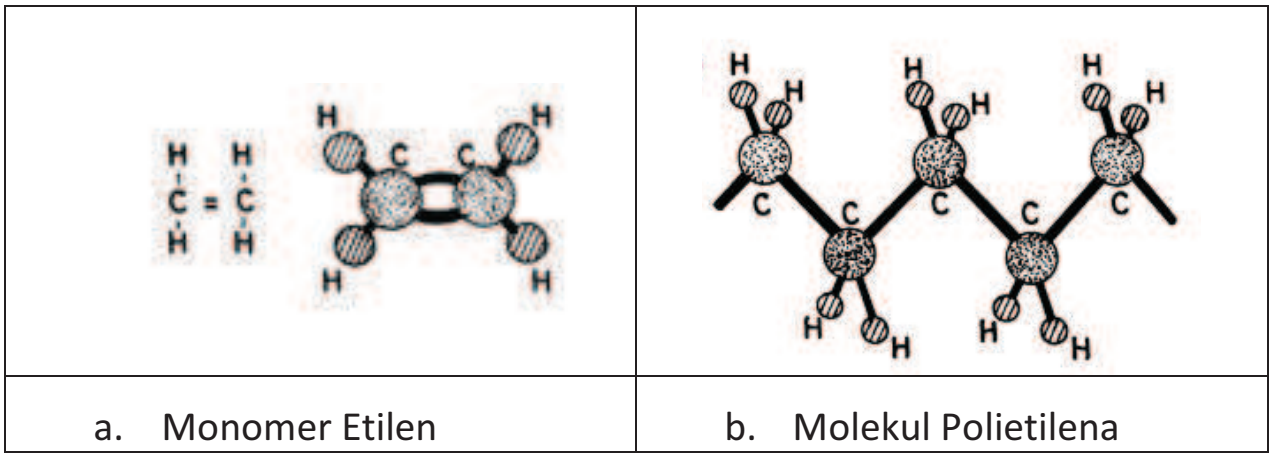


Gambar 2.1: Produk Utama Polimer dari Etilen

Bahan baku geosintetik umumnya adalah polimer sintetik. Polimer berasal dari kata *poli* yang berarti banyak dan *meros* yang berarti bagian. Jadi bahan polimer terdiri dari dari beberapa bagian yang digabungkan untuk membentuk suatu bahan. Setiap bagian, atau unit, disebut *monomer* yang kemudian akan melalui proses penggabungan (polimerisasi) untuk menjadi molekul rantai panjang. Sebagai contoh, Gambar 2.2 memperlihatkan monomer-monomer etilen yang digabungkan menjadi polietilena.

Jumlah monomer dalam rantai polimer menentukan panjang rantai polimer dan berpengaruh terhadap berat molekul. Berat molekul berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanis, ketahanan terhadap suhu

dan durabilitas (ketahanan terhadap serangan kimia dan biologi) dari geosintetik. Sifat fisik dan mekanis polimer juga dipengaruhi oleh ikatan dalam rantai dan antar rantai, cabang rantai, dan derajat kristalinitas. Peningkatan derajat kristalinitas berakibat pada meningkatnya kekakuan, kuat tarik, kekerasan, dan titik lembek, dan penurunan permeabilitas kimiawi.

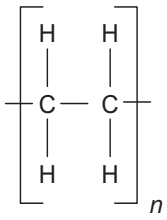
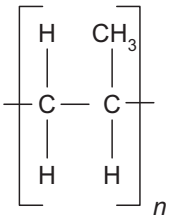
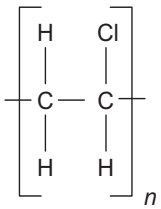
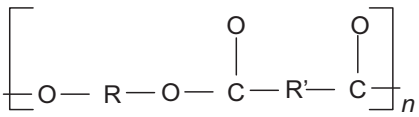
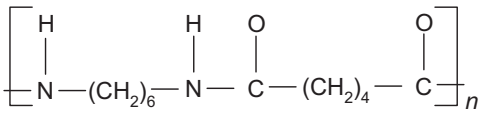
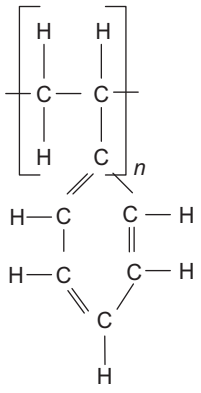


a. Monomer Etilen	b. Molekul Polietilena

Gambar 2.2: Proses Polimerisasi

Tabel 1.2 memperlihatkan unit molekul berulang dari polimer yang paling banyak digunakan untuk membentuk bahan geosintetik. Di antara kelompok tersebut, Polietilena dan polipropilena merupakan polimer yang paling sering digunakan. Polietilena dan polipropilena tersebut secara keseluruhan disebut poliolefin.

Tabel 2.1: Unit Molekul Berulang Polimer Geosintetik

Polimer	Singkatan	Unit Berulang	Jenis Geosintetik
Polietilena	PE		Geotekstil, geomembran, geogrid, geopipa, geonet, geokomposit
Polipropilena	PP		Geotekstil, geomembran, geogrid, geokomposit
Polivinil chlorida	PVC		Geomembran, geokomposit, geopipa
Poliester (Polietilena terephtalate)	PET		Geotekstil, geogrid
Poliamida	PA		Geotekstil, geogrid, geokomposit
Polistiren	PS		Geokomposit, geofoam

Alasan utama PP banyak digunakan dalam manufaktur geotekstil adalah karena harganya yang murah. PP banyak digunakan untuk struktur yang tidak kritis. Keuntungan lainnya, PP mempunyai ketahanan terhadap bahan kimia dan pH karena strukturnya yang semikristalin. Aditif dan stabilizer (seperti karbon hitam) harus ditambahkan agar PP lebih tahan sinar ultraviolet selama pemrosesan. Untuk struktur yang kritis, atau ketika dibutuhkan kinerja struktur jangka panjang, PP tidak efektif karena PP mempunyai sifat yang buruk terhadap rangkak akibat beban konstan dalam jangka panjang.

Penggunaan bahan poliester (PET) saat ini semakin meningkat untuk geosintetik perkuatan seperti geogrid karena kuat tariknya yang tinggi dan ketahanan terhadap rangkak. Ketahanan kimia poliester umumnya sangat baik, kecuali pada lingkungan dengan pH yang sangat tinggi. Secara alamiah, PET juga stabil terhadap sinar ultraviolet.

Polietilena (PE) merupakan polimer organik yang paling sederhana yang paling sering digunakan untuk memproduksi geomembran. PE digunakan dalam bentuk kepadatan rendah dan sedikit terkristal (*crystalline*) untuk menjadi LDPE (*low density polyethylene*) yang mempunyai keunggulan mudah dibentuk, mudah diproses dan mempunyai sifat fisik yang baik. PE juga digunakan sebagai HDPE (*high density polyethylene*), yang lebih kaku dan tahan terhadap bahan kimia.

PVC merupakan jenis resin berbasis vinil yang sering digunakan. Dengan peliat (*plasticizers*) dan bahan aditif lainnya, PVC dapat dibuat menjadi berbagai macam bentuk. Jika PVC tidak dicampur dengan zat penstabil yang tepat, PVC cenderung menjadi getas dan buram ketika terpapar sinar ultraviolet serta dapat terdegradasi akibat suhu.

Poliamida (PA), banyak dikenal sebagai nilon, merupakan zat termoplastik yang dapat diproses dengan cara dilelehkan. PA mempunyai keunggulan kuat tarik yang tinggi pada suhu tinggi, daktilitas, ketahanan terhadap aus dan usang, permeabilitas yang rendah karena udara dan hidrokarbon serta tahan terhadap zat kimia. Kelemahannya adalah kecenderungannya untuk menyerap air, yang

mengakibatkan perubahan sifat fisik dan mekanis, serta ketahanan yang terbatas terhadap zat asam dan pelapukan.

Beberapa faktor lingkungan berpengaruh terhadap durabilitas polimer. Komponen ultraviolet dari radiasi sinar matahari, suhu dan oksigen, dan kelembaban merupakan faktor di atas tanah yang berpengaruh terhadap degradasi. Di bawah tanah, faktor utama yang berpengaruh adalah durabilitas polimer adalah ukuran butir tanah dan angularitas kerikil, keasaman/kadar alkali, ion logam berat, kandungan oksigen, kadar air, kadar organik dan temperatur. Ketahanan polimer terhadap faktor-faktor lingkungan diperlihatkan Tabel 2.2. Perlu diketahui bahwa reaksi yang terjadi biasanya lambat dan dapat lebih ditahan dengan menambahkan zat aditif yang sesuai.

Tabel 2.2: Ketahanan Polimer Terhadap Faktor Lingkungan

Faktor yang Berpengaruh	PP	PET	PE	PA
Sinar ultraviolet (tidak distabilisasi)	Sedang	Tinggi	Rendah	Sedang
Sinar ultraviolet (distabilisasi)	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang
Alkali	Tinggi	Rendah	Tinggi	Tinggi
Asam	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah
Garam	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Deterjen	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Panas, kering (100 ^{o}C)	Sedang	Tinggi	Rendah	Sedang
Uap (sampai 100 ^{o}C)	Rendah	Rendah	Rendah	Sedang
Hidrolisis (reaksi dengan air)	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Mikro organisme	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sedang
Rangkak	Rendah	Tingi	Rendah	Sedang

2.2. Proses Pembuatan Geosintetik

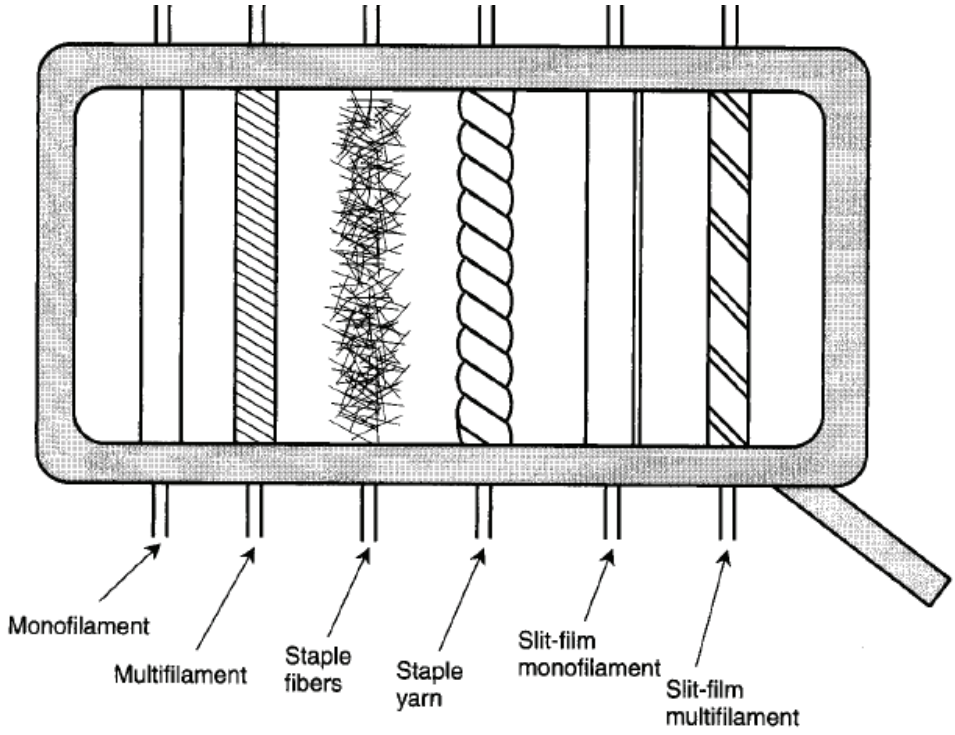
2.2.1. Proses Pembuatan Geotekstil Teranyam

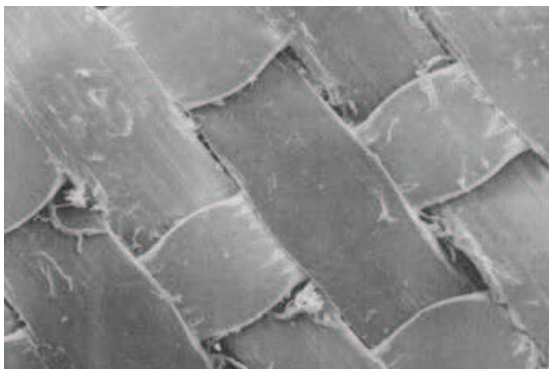
Proses pembuatan geotekstil pada dasarnya terdiri dari dua tahap: tahap pertama merupakan pembuatan elemen linier seperti serat (*fiber*) atau benang (*yarn*) dari pelet atau butiran polimer dengan memberikan panas dan tekanan. Tahap kedua adalah mengkombinasikan elemen-elemen linier tersebut menjadi struktur lembaran atau serupa dengan kain. Benang (*yarn*) dapat terdiri dari satu atau beberapa serat.

Pada prinsipnya, terdapat empat jenis serat yang biasa digunakan dalam geotekstil yaitu:

1. Filamen. Filamen dibuat dengan menekan polimer yang dilelehkan melalui lubang cetakan dan kemudian menariknya ke arah longitudinal.
2. Serabut serat (*staple fiber*), diperoleh dengan memotong filamen-filamen menjadi lebih pendek, biasanya 2-10 cm.
3. Potongan film (*slit film*), merupakan serat seperti pita, biasanya lebarnya 1-3 mm, dibuat dengan memotong pita plastik dan kemudian menariknya ke arah longitudinal.
4. Untaian benang (*strand*) adalah suatu bundel serat-serat seperti pita yang dapat diikatkan satu sama lain.

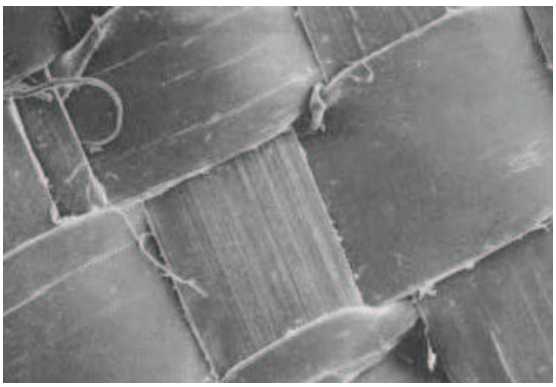
Beberapa jenis benang digunakan untuk membuat geotekstil teranyam, yaitu: benang monofilamen (dari filamen tunggal), benang multifilamen (terbuat dari filamen-filamen halus yang di-searah-kan), benang pintal (terbuat dari serabut-serabut serat yang dijalin), benang potongan film (dari sebuah serat potongan film) dan benang fibrilasi yang dibuat dari *strand*. Gambar 2.3 memperlihatkan ilustrasi tentang jenis serat atau benang yang digunakan dalam pembuatan geosintetik.



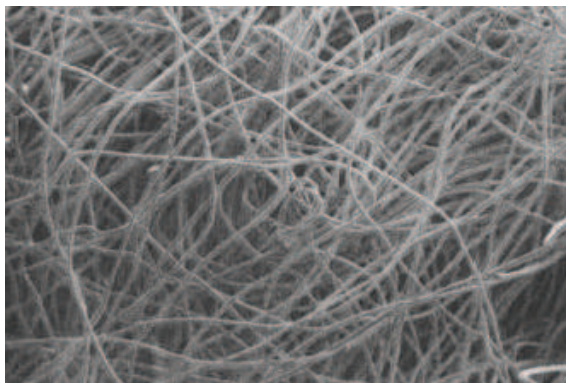


Woven monofilamen

Woven multifilamen



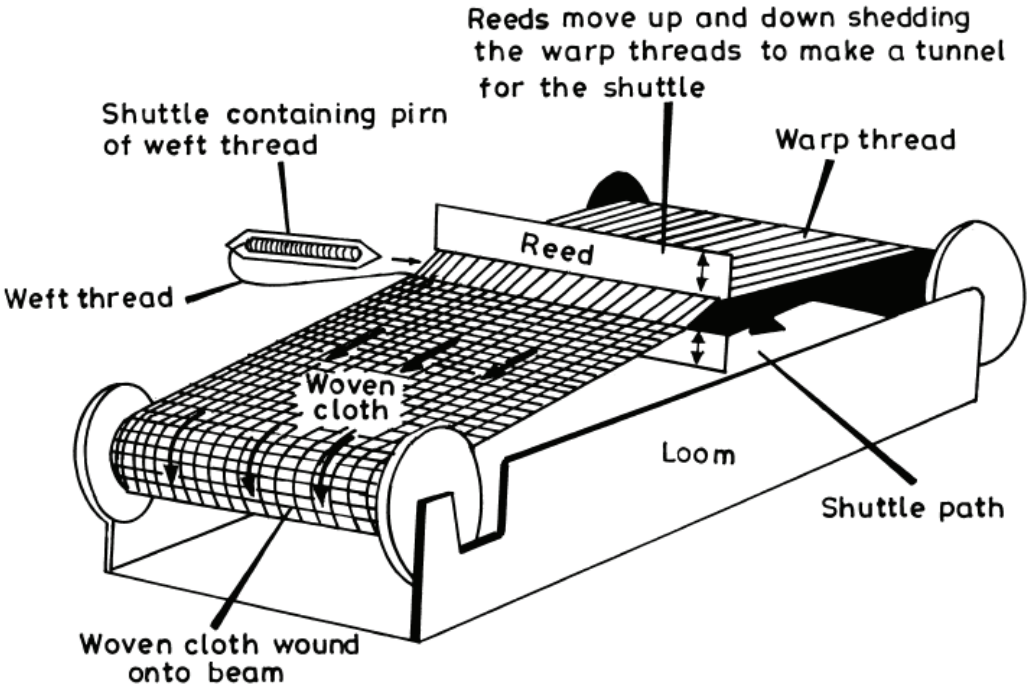
Woven slit film



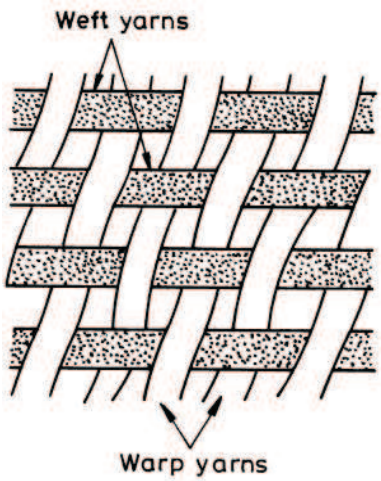
Non woven needle-punched

Gambar 2.3: Jenis Serat atau Benang untuk Geosintetik

Walaupun saat ini alat pembuat geotekstil teranyam semakin canggih, namun secara prinsip prosesnya sama dengan proses alat tenun konvensional, lihat Gambar 2.4. Proses penganyaman membuat geotekstil terlihat seperti dua set benang yang saling menyilang tegak lurus seperti diperlihatkan pada Gambar 2.5. Istilah *warp* dan *weft* biasa digunakan untuk membedakan dua arah benang yang berbeda. *Warp* adalah benang arah longitudinal yang bergerak searah mesin. *Weft* merupakan benang yang bergerak dalam arah lebar atau melintang. Karena arah *warp* sejajar dengan arah pembuatan geotekstil dalam mesin tenun, *warp* juga disebut "arah mesin" atau *machine direction (*MD), dan sebaliknya *weft* disebut "arah melintang mesin" atau *cross machine direction* (CMD).



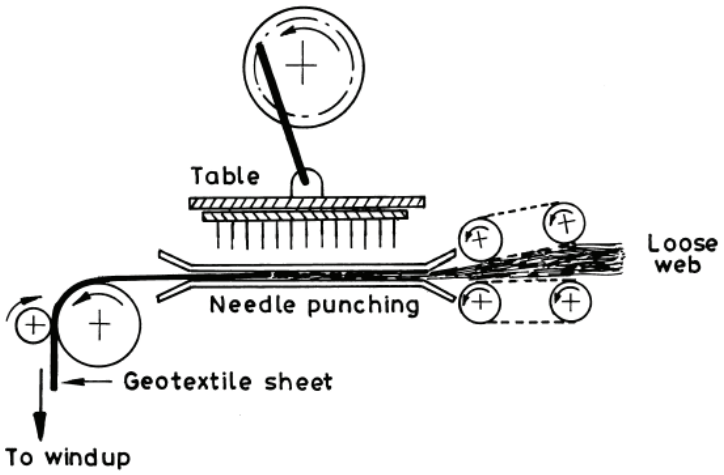
Gambar 2.4: Komponen Utama Alat Tenun



Gambar 2.5: Tipikal Geotekstil Teranyam

2.2.2. Proses Pembuatan Geotekstil Tak-teranyam

Geotekstil tak-teranyam dibuat dengan proses yang berbeda dibandingkan geotekstil teranyam. Proses ini mencakup penebaran serat-serat secara menerus pada conveyor belt sehingga membentuk jaring lepas. Jaring lepas ini kemudian melewati alat untuk mengikat dengan cara mekanis, pemanasan maupun kimiawi. Pengikatan dengan cara mekanis dilakukan dengan menghantamkan ribuan jarum melalui jaring lepas tersebut (Gambar 2.6).

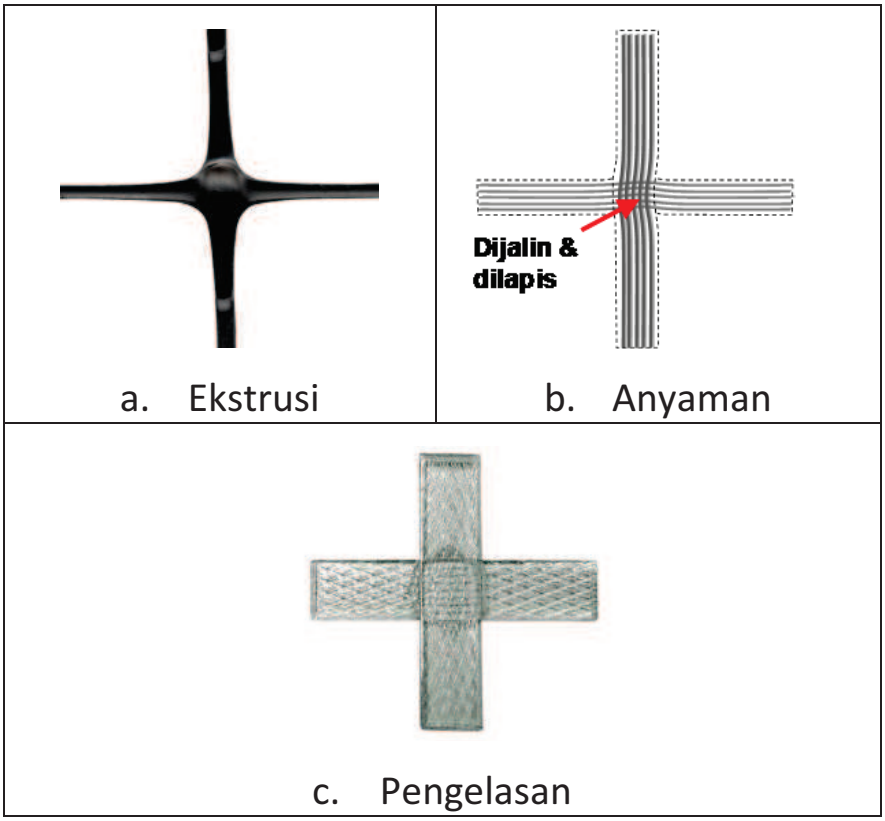


Gambar 2.6: Proses Pembuatan Geotekstil Tak-Teranyam Needle Punch

2.2.3. Proses Pembuatan Geogrid

Geogrid umumnya mempunyai bentuk geometri yang terdiri dari dua set elemen ortogonal penahan tarik dalam pola segi empat. Karena kebutuhan sifat geosintetik dengan kuat tarik dan ketahanan rangkak yang tinggi, geogrid diproduksi dari plastik dengan molekul yang diorientasikan ke arah tarik.

Perbedaan utama antara setiap jenis geogrid adalah cara penggabungan elemen memanjang dan melintang. Teknologi cara penggabungan kedua elemen tersebut saat ini dilakukan dengan metoda ekstrusi, anyaman dan pengelasan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.



a. Ekstrusi

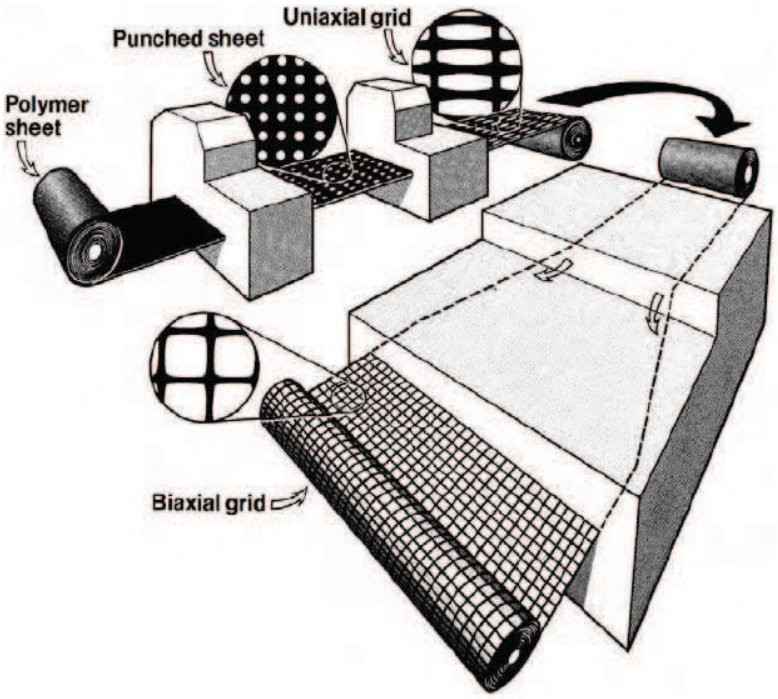
b. Anyaman

c. Pengelasan

Gambar 2.7: Jenis Penggabungan Elemen Geogrid

Geogrid ekstrusi dibuat dari lembaran polimer dalam dua atau tiga tahap pemrosesan (lihat Gambar 2.8). Tahap pertama mencakup pemasukan lembaran polimer ke dalam mesin pelubang sehingga membentuk lubang-lubang dalam pola grid yang teratur. Tahap kedua,

lembaran polimer berlubang tersebut dipanaskan dan ditarik dalam arah mesin. Proses penarikan tersebut mengorientasikan arah molekul polimer rantai panjang ke arah penarikan sehingga meningkatkan kuat tarik dan kekakuan tarik. Proses tersebut bisa dihentikan pada tahap ini dan produk akhirnya adalah geogrid uniaksial. Geogrid uniaksial tersebut dapat melalui tahap ketiga untuk dipanaskan dan ditarik ke arah melintang sehingga menghasilkan geogrid biaksial.



Gambar 2.8: Proses Pembuatan Geogrid Ekstrusi

Geogrid anyaman dibuat dengan proses merajut polimer multifilamen. Ketika filamen-filamen tersebut berpotongan, dilakukan suatu proses sehingga saling menyilang untuk membentuk titik pertemuan yang kuat. Titik-titik pertemuan tersebut biasanya dilapis dengan akrilik atau PVC.

Pengelasan elemen-elemen geogrid dilakukan dengan pengelasan laser ataupun ultrasonic terhadap pita-pita PP atau PET pada titik pertemuannya.

2.3. Soal Latihan

1. Bahan pembuat geosintetik adalah polimer sintetik yang umumnya diperoleh dari:
   a. Karet
   b. Serat kaca
   c. Minyak mentah
   d. Rami
2. Polimer yang sering digunakan untuk membuat geosintetik adalah:
   a. Polipropilena (PP) dan Poliamida (PA)
   b. Poliester (PET) dan Polietilena (PE)
   c. Polipropilena (PP) dan Poliester (PET)
   d. Polipropilena (PP) dan Polietilena (PE)
3. Polimer yang paling tahan terhadap rangkak adalah:
   a. Polipropilena (PP)
   b. Poliester (PET)
   c. Polietilena (PE)
   d. Poliamida (PA)
4. Berat molekul polimer berpengaruh pada:
   a. Sifat fisik geosintetik
   b. Sifat mekanis geosintetik
   c. Ketahanan suhu dan durabilitas geosintetik
   d. Semuanya benar
5. Serat sintetik yang diperoleh dengan menekan polimer yang dilelehkan melalui lubang cetakan dan kemudian menariknya ke arah longitudinal disebut:
   a. Filamen
   b. Serabut serat (*staple fiber*)

c. Potongan film (*slit film*)
d. Untaian benang (*strand*)

6. Jenis geosintetik manakah yang merupakan geokomposit?
   a. Geogrid
   b. Geonet
   c. Geosinthetic Clay Liners
   d. Bukan ketiga pilihan di atas
7. Suatu produk polimer berbentuk lembaran, berbentuk jaring dan bukaan tertentu disebut, mempunyai elemen-elemen yang berpotongan yang digabungkan secara integral pada titik sambungannya disebut:
   a. Geotekstil
   b. Geogrid
   c. Geonet
   d. Geomembran

3 Fungsi & Aplikasi Geosintetik

Bab 3 ini menjelaskan fungsi dan aplikasi geosintetik serta panduan awal bagaimana memilih jenis geosintetik yang sesuai dengan fungsi dan aplikasi yang direncanakan. Pemilihan jenis geosintetik berhubungan dengan tipe polimer, tipe elemen dan proses pembuatan geosintetik seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2.

3.1. Pendahuluan

Geosintetik memiliki enam fungsi sebagai berikut:

1. Separator: bahan geosintetik digunakan di antara dua material tanah yang tidak sejenis untuk mencegah terjadi pencampuran material. Sebagai contoh, bahan ini digunakan untuk mencegah bercampurnya lapis pondasi jalan dengan tanah dasar yang lunak sehingga integritas dan tebal rencana struktur jalan dapat dipertahankan.
2. Perkuatan: sifat tarik bahan geosintetik dimanfaatkan untuk menahan tegangan atau deformasi pada struktur tanah. Untuk fungsi ini, geosintetik banyak digunakan untuk perkuatan timbunan di atas tanah lunak, perkuatan lereng dan dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis (*mechanically stabilized earth wall, MSEW*).
3. Filter: bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase dan mencegah terjadinya migrasi partikel tanah

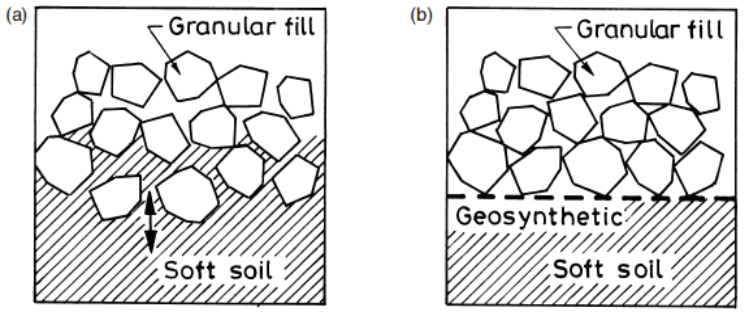
melalui filter. Contoh penggunaan geosintetik sebagai filter adalah pada sistem drainase porous.

4. Drainase: bahan geosintetik digunakan untuk mengalirkan air dari dalam tanah. Bahan ini contohnya digunakan sebagai drainase di belakang abutmen atau dinding penahan tanah.

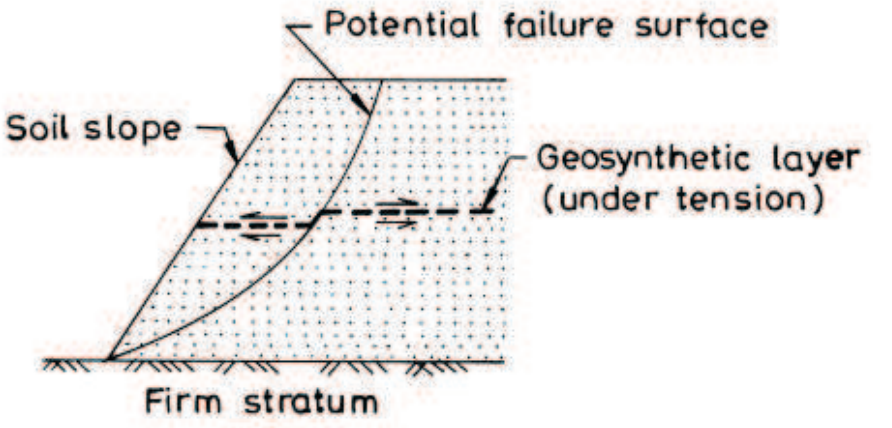
5. Penghalang: bahan geosintetik digunakan untuk mencegah perpindahan zat cair atau gas. Sebagai contoh, geomembran pada kolam penampung limbah berfungsi untuk mencegah pencemaran limbah cair pada tanah.

6. Proteksi: bahan geosintetik digunakan sebagai lapisan yang memperkecil tegangan lokal untuk mencegah atau mengurangi kerusakan pada permukaan atau lapisan tersebut. Sebagai contoh, tikar geotekstil (*mat)* digunakan untuk mencegah erosi tanah akibat hujan dan aliran air. Contoh lainnya, geotekstil tak-teranyam digunakan untuk mencegah tertusuknya geomembran oleh tanah atau batu di sekelilingnya pada saat pemasangan.

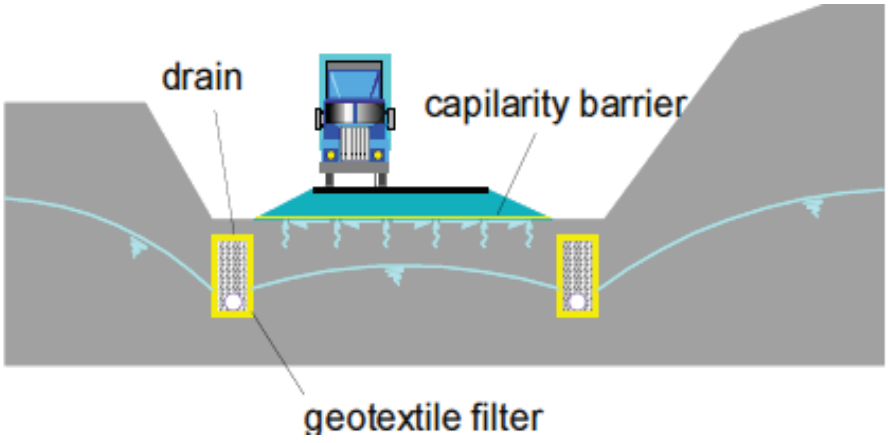
Gambar 3.1 memperlihatkan ilustrasi aplikasi geosintetik untuk keenam fungsi tersebut di atas.



a. Separator

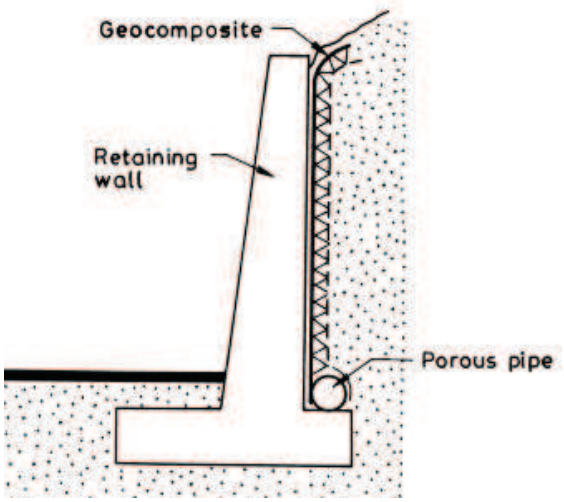


b. Perkuatan

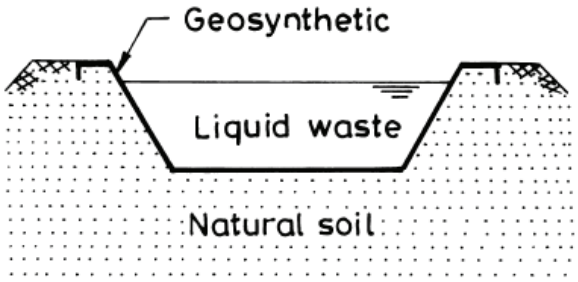


c. Filter

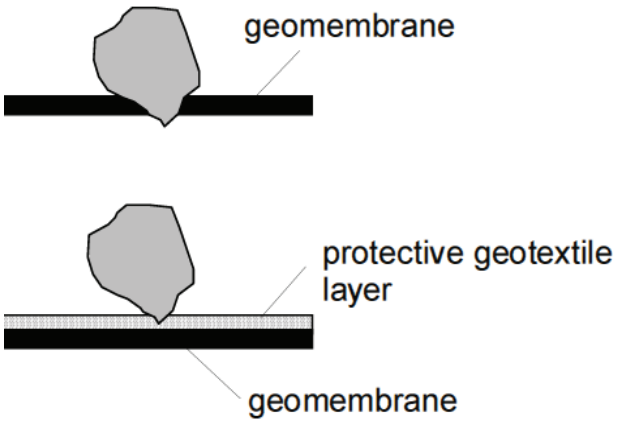
Gambar 3.1: Fungsi dan Aplikasi Geosintetik



d. Drainase



e. Penghalang



f. Proteksi

Gambar 3.1: Fungsi dan Aplikasi Geosintetik (*lanjutan*)

3.2. Pemilihan Jenis Geosintetik

Setelah memahami fungsi dan aplikasi geosintetik maka kita harus dapat memilih jenis geosintetik yang berhubungan dengan tipe polimer, elemen dan proses produksi geosintetik seperti telah diterangkan pada Bab 1 dan Bab 2.

Tabel 3.1 memperlihatkan fungsi utama atau fungsi primer yang dapat diperoleh dari setiap jenis geosintetik. Akan tetapi, pada beberapa kasus geosintetik dapat juga memberikan fungsi sekunder atau bahkan fungsi tersier. Sebagai contoh, geosintetik untuk perkuatan timbunan di atas tanah lunak fungsi primernya adalah perkuatan, tetapi kita juga membutuhkan fungsi sekunder sebagai separator dan fungsi tersier sebagai filter.

Tabel 3.1. Identifikasi Fungsi Primer Geosintetik

Jenis Geosintetik	*Fungsi Utama*					
	Separator	*Perkuatan*	*Filter*	*Drainase*	*Penghalang*	*Proteksi*
Geotekstil	√	√	√	√		√
Geogrid		√				
Geonet				√		
Geomembran					√	
Geosynthetic Clay Liner (GCL)					√	
Geopipa				√		
Geofoam	√					
Geokomposit	√	√	√	√	√	√

Pemilihan geosintetik dipengaruhi beberapa faktor seperti spesifikasi, durabilitas, ketersediaan bahan, biaya dan konstruksi. Durabilitas dan sifat-sifat geosintetik lainnya termasuk biaya tergantung dari jenis polimer yang digunakan sebagai bahan mentah geosintetik. Tabel 3.2 memperlihatkan sifat umum beberapa jenis polimer yang sering

digunakan dan Tabel 3.3 memperlihatkan nilai-nilai sifat geosintetik berdasarkan proses pembuatannya geosintetik . Kedua tabel tersebut dapat membantu memilih jenis geosintetik.

Sebagai contoh, geotekstil dapat berfungsi untuk separator, perkuatan, filter, drainase dan proteksi (lihat Tabel 3.1). Geotekstil terbuat dari PE, PP, PET atau PA (lihat Tabel 3.2). Jika kita membutuhkan geotekstil untuk perkuatan, maka kita membutuhkan geotekstil dengan kuat tarik dan modulus elastisitas yang tinggi tapi mempunyai nilai regangan yang rendah. Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 memberikan indikasi bahwa geotekstil poliester teranyam dapat kita pilih.

Contoh lainnya, untuk aplikasi separator atau filter, dibutuhkan geosintetik yang fleksibel, lulus air tapi butiran tanah dapat tetap tertahan. Oleh karena itu, dapat dipilih geotekstil tak-teranyam dari polipropilena (PP).

Perlu dipahami bahwa faktor lingkungan dan kondisi lapangan juga menentukan geosintetik yang akan dipilih. Kadang-kadang, beberapa jenis geosintetik memenuhi persyaratan yang kita inginkan. Dalam kasus ini, geosintetik harus dipilih berdasarkan nilai ekonomis (rasio biaya-manfaat), termasuk pengalaman lapangan.

Sifat-sifat geosintetik dapat berubah seperti akibat penuaan (*ageing*), kerusakan mekanis (terutama saat pemasangan di lapangan), rangkak, hidrolisis atau reaksi dengan air, serangan biologi dan kimia, paparan sinar matahari dan sebagainya. Faktor-faktor tersebut harus diperhitungkan saat memilih geosintetik dan diterangkan secara lebih lanjut di Bab 4.

Tabel 3.2. Nilai Umum Sifat Polimer

Polimer	Penggunaan	Berat Jenis	Titik Leleh (^{o}C)	Kuat Tarik pada 20 ^{o}C (MN/m^{2})	Modulus Elastisitas (MN/m^{2})	Regangan saat Putus (%)
Polietilena (PE)	Geotekstil Geomembran Geogrid Geopipa Geonet Geokomposit	0.91–0.96	130	80 – 600	200 – 6000	10 – 80
Polipropilena (PP)	Geotekstil Geomembran Geogrid Geopipa Geonet Geokomposit	0.90–0.91	165	400 – 600	2000 – 5000	10 – 40
Polivinil chlorida (PVC)	Geomembran Geopipa Geokomposit	1.3–1.5	160	20 – 50	10 – 100	50 – 150
Poliester (PET)	Geotekstil Geogrid	1.22–1.38	260	800 – 1200	12,000 – 18,000	8 – 15
Poliamida (PA)	Geotekstil Geokomposit Geofoam	1.05–1.15	220 – 250	700–900	3000– 4000	15–30

Tabel 3.3. Rentang Umum Sifat-sifat Geosintetik

No	Jenis Geosintetik	Kuat Tarik (kN/m)	Elongasi pada beban max (%)	Ukuran Pori-pori Geotekstil (mm)	Kecepatan Aliran Air (liter/m^2 /detik)	Massa per Satuan Luas (g/m^2)
1	**Geotekstil Tak Teranyam**					
	• Diikat dengan pemanasan	3–25	20–60	0.02–0.35	10–200	60–350
	• Needle Punched	7–90	30–80	0.03–0.20	30–300	100–3000
	• Diikat cara kimia	5–30	25–50	0.01–0.25	20–100	130–800
2	**Geotekstil Teranyam**					
	• Monofilamen	20–80	20–35	0.07–4.0	80–2000	150–300
	• Multifilamen	40–1200	10–30	0.05–0.90	20–80	250–1500
	• Pita	8–90	15–25	0.10–0.30	5–25	90–250
3	**Geotekstil Rajutan**					
	• Arah Melintang Mesin	2–5	300–600	0.20–2.0	60–2000	150–300
	• Arah Mesin	20–800	12–30	0.40–1.5	80–300	250–1000
4	**Geogrid**					
	• Ekstrusi	10–200	20–30	15–150	NA	200–1100
	• Anyaman	20–400	3–20	20–50	NA	150–1300
	• Las	30–200	3–15	50–150	NA	400–800
5	**Geomembran (PE, tanpa diperkuat)**	10–50	50–200	0	0	400–3500
6	**Geokomposit (GCL)**	10–20	10–30	0	0	5000–8000

Tabel 3.4 memperlihatkan sifat-sifat utama yang perlu diperhatikan sehubungan dengan fungsi yang kita rencanakan. Perlu diperhatikan bahwa data interaksi tanah dengan geosintetik diperlukan untuk perkuatan dan separator. Data interaksi itu dibutuhkan suatu kasus dimana dapat terjadi perbedaan pergerakan antara geosintetik dan material di sekitarnya yang dapat membahayakan struktur. Data rangkak tarik juga dibutuhkan untuk memberikan indikasi durabilitas geosintetik terhadap beban konstan dalam jangka panjang jika kita menggunakan geosintetik sebagai perkuatan. Data kuat tusuk diperlukan untuk filter dan separator jika kondisi lapangan dapat mengakibatkan tertusuknya geosintetik.

Tabel 3.4. Sifat Penting Geosintetik sesuai Fungsinya

Fungsi Geosintetik	*Sifat-sifat Utama Geosintetik yang Dibutuhkan*
Separator	Ukuran pori-pori geosintetik (*apparent opening size*), kuat tusuk, interaksi tanah-geosintetik (friksi dan kuncian/*interlocking*), durabilitas.
Perkuatan	Kekuatan, kekakuan, interaksi tanah-geosintetik (friksi dan kuncian/*interlocking*), rangkak, durabilitas
Filter	Ukuran pori-pori geosintetik (*apparent opening size*), daya tembus air, clogging, kuat tusuk, durabilitas.
Drainase	Ukuran pori-pori geosintetik (*apparent opening size*), transmisivitas, clogging, durabilitas.
Penghalang	Daya tembus air, kekuatan, durabilitas, daya tahan abrasi
Proteksi	Tahanan tusuk, kekuatan jebol (*burst*), kekakuan, daya tahan abrasi, durabilitas

Penjelasan lebih lanjut mengenai sifat-sifat geosintetik Tabel 3.4 beserta pengujian laboratoriumnya diberikan pada Bab 4. Akan tetapi, jenis-jenis pengujian yang harus dilakukan tergantung dari spesifikasi yang dipersyaratkan serta kondisi lapangan yang dihadapi.

3.3. Soal Latihan

1. Geosintetik yang dapat mengalirkan air tanpa mengakibatkan terjadinya perpindahan partikel tanah melalui geosintetik disebut fungsi:
   a. Separator
   b. Filter
   c. Drainase
   d. Proteksi

2. Geosintetik yang berfungsi sebagai filter juga dapat memberikan keuntungan sebagai:
   a. Perkuatan
   b. Separator
   c. Penghalang zat cair
   d. Bukan ketiga jawaban di atas
3. Manakah yang merupakan fungsi dasar geosintetik?
   a. Absorpsi
   b. Insulasi
   c. Proteksi
   d. Penyaring
4. Jenis geosintetik manakah yang dapat berfungsi sebagai proteksi?
   a. Geotekstil
   b. Geogrid
   c. Geomembran
   d. Geonet
5. Jenis geosintetik manakah yang mempunyai fungsi utama sebagai penghalang cairan?
   a. Geotekstil dan geokomposit
   b. Geotekstil dan geogrid
   c. Geotekstil dan geonet
   d. Bukan ketiga jawaban di atas
6. Jenis polimer manakah yang mempunyai modulus elastisitas tertinggi?
   a. Polipropilena (PP)
   b. Polietilena (PE)
   c. Poliester (PET)
   d. Polivinil klorida (PVC)

4 Sifat-sifat Geosintetik

Seperti telah diterangkan pada Bab 2 dan Bab 3, Geosintetik terbuat dari berbagai macam material dan dapat digunakan pada bermacam-macam aplikasi serta kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap sifat-sifat geosintetik sangat penting agar geosintetik dapat berfungsi sesuai dengan fungsi yang direncanakan.

Bab ini menerangkan tentang sifat-sifat geosintetik dan menjelaskan konsep dasar bagaimana cara memperolehnya dengan pengujian laboratorium. Perlu diketahui bahwa geosintetik adalah suatu produk berbasis polimer sehingga bersifat viscoelastic. Sifat ini menyebabkan kinerja geosintetik terpengaruh oleh suhu, tingkat tegangan, lamanya beban yang bekerja, dan besarnya beban yang bekerja. Sifat-sifat geosintetik dapat dibagi menjadi sifat fisik, sifat mekanik, sifat hidrolik, dan durabilitas serta degradasi.

4.1. Sifat Fisik

Sifat-sifat fisik geosintetik yang perlu diketahui adalah berat jenis, massa per satuan luas, ketebalan dan kekakuan. Sifat-sifat tersebut disebut sifat indeks geosintetik. Beberapa sifat fisik lainnya yang penting hanya untuk geonet dan geogrid adalah jenis struktur, jenis persilangan, ukuran bukaan (*aperture*) dan bentuk, dimensi rib dan sudut planar yang dibentuk oleh rib-rib yang bersilangan. Sifat-sifat fisik tersebut lebih terpengaruh oleh suhu dan kelembaban dibandingkan dengan tanah dan batuan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil yang konsisten dalam laboratorium, dibutuhkan pengendalian suhu dan kelembaban selama pengujian.

4.1.1. Berat Jenis

Berat jenis serat pembentuk geosintetik merupakan berat jenis dari bahan baku polimer. Berat jenis didefinisikan sebagai rasio dari unit volume bahan (tanpa rongga) terhadap unit volume berat air yang didestilasi dan tanpa udara pada suhu 4 ^{o}C.

Berat jenis merupakan sifat yang penting karena sifat ini dapat membantu dalam mengidentifikasi jenis polimer dasar geosintetik. Berat jenis sering digunakan untuk identifikasi geomembran dan untuk uji kendali mutu. Untuk polietilena (PE), berat jenis penting untuk mengetahui apakah PE tersebut tergolong kepadatan rendah (LDPE, *low density polyethylene)*, sedang atau tinggi (HDPE, *high density polyethylene*). Jika geosintetik menggunakan zat aditif, maka berat jenis polimer dapat bertambah atau berkurang.

Di bawah ini adalah beberapa nilai berat jenis poliester bersama dengan berat jenis baja dan tanah sebagai pembanding. Perlu diketahui beberapa polimer mempunyai berat jenis kurang dari 1, misalnya PP dan PE, sehingga jika geosintetik digunakan dalam air akan mengapung.

- Berat jenis baja = 7.87
- Berat jenis tanah/batuan = 2.4 sampai 2.9
- Berat jenis polietilena (PE) = 0.91 sampai 0.96
- Berat jenis polipropilena (PP) = 0.90 sampai 0.91
- Berat jenis polivinilklorica (PVC) = 1.3 sampai 1.5
- Berat jenis poliester (PET) = 1.22 sampai 1.38
- Berat jenis poliamida (PA) = 1.05 sampai 1.15

4.1.2. Massa per Satuan Luas

Massa per satuan luas ditentukan dengan menimbang beberapa benda uji berbentuk persegi atau lingkaran dengan luas 100 cm^2 seperti

diperlihatkan pada Gambar 4.1. Nilai yang diperoleh kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh massa per satuan luas dari contoh geosintetik.

Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.1: Uji Berat Geosintetik

Massa per satuan luas geosintetik berguna untuk memberikan indikasi tentang harga dan sifat-sifat lainnya seperti kuat tarik, kuat robek, kuat tusuk dan sebagainya. Nilai massa per satuan luas juga dapat digunakan untuk uji kendali mutu terhadap bahan geosintetik yang dikirimkan ke lapangan jika dipersyaratkan dalam spesifikasi.

Standar pengujian berat geosintetik adalah:

- ISO 9864: 2005. Geosynthetics - Test method for the Determination of Mass per Unit Area of Geotextiles and Geotextile-Related Products.
- ASTM D 5261. Standard Test Method for Measuring Mass per Unit Area of Geotextiles.

4.1.3. Ketebalan

Ketebalan geosintetik adalah jarak antara permukaan atas dan bawah geosintetik yang diukur tegak lurus terhadap permukaan dengan tegangan tekan normal (2 kPa untuk geotekstil dan 20 kPa untuk geogrid dan geomembran) selama 5 detik. Ketebalan geosintetik harus

diukur dengan instrumen yang akurat hingga 0.025 mm. Gambar 4.2 memperlihatkan pengujian ketebalan geosintetik.

Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.2: Uji Ketebalan Geosintetik

Sifat fisik tebal merupakan sifat dasar yang digunakan untuk kendali mutu geosintetik. Tebal geosintetik biasanya tidak dicantumkan dalam spesifikasi geotekstil kecuali untuk geotekstil tak-teranyam yang tebal. Akan tetapi tebal geosintetik harus dicantumkan untuk spesifikasi geomembran. Tebal geosintetik juga diperlukan untuk menghitung parameter lainnya seperti permeabilitas sejajar bidang geotekstil dan permeabilitas tegak lurus bidang geotekstil (daya tembus air).

Standar pengujian ketebalan geosintetik adalah:

- SNI 08-4420-1997. Cara Uji Ketebalan Geotekstil.
- ISO 9863-2:1996. Geotextiles And Geotextile-Related Products -- Determination Of Thickness At Specified Pressures -- Part 2: Procedure For Determination Of Thickness Of Single Layers Of Multilayer Products

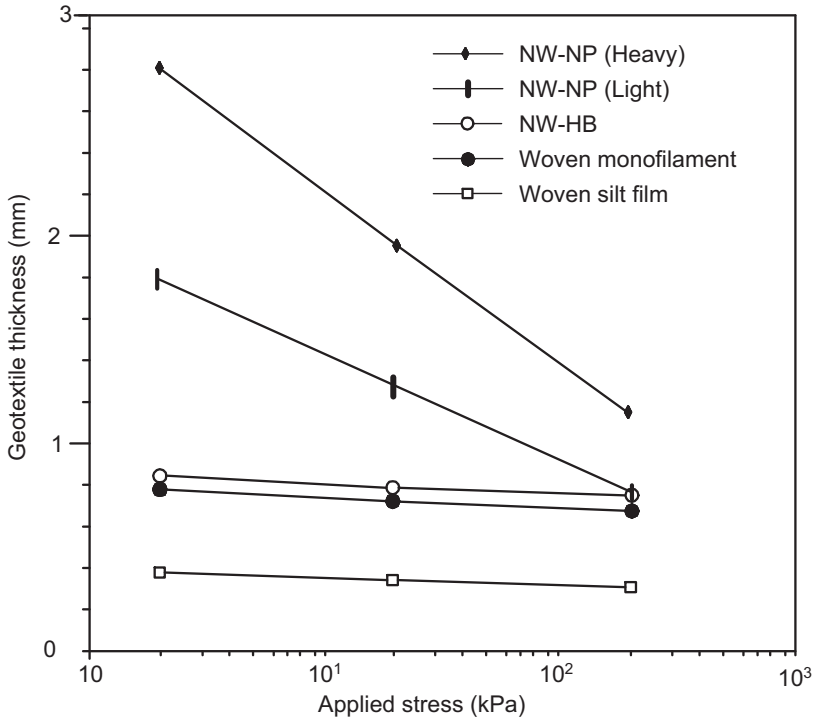
- ASTM D 5199. Standard Test Method For Measuring Nominal Thickness Of Geosynthetics.

4.2. Sifat Mekanik

Sifat-sifat mekanik merupakan sifat penting untuk geosintetik yang digunakan untuk menahan kerusakan saat instalasi dan menahan beban. Sifat mekanik yang penting adalah kompresibilitas, kuat tarik dan modulus tarik,

4.2.1. Kompresibilitas

Kompresibilitas geosintetik diukur dari penurunan ketebalan akibat peningkatan tegangan normal yang diberikan. Sifat mekanik ini sangat penting untuk geotekstil tak teranyam yang berfungsi untuk mengalirkan zat cair sejajar bidang geotekstil misalnya geotekstil tak-teranyam yang dipasang di belakang dinding penahan tanah. Jika geotekstil semakin tertekan akibat beban, maka kemampuan untuk mengalirkan airnya semakin berkurang. Gambar 4.3 memperlihatkan hubungan antara kompresibilitas dan beban yang diberikan untuk setiap jenis geotekstil. Terlihat bahwa geotekstil tak-teranyam yang dilubangi jarum (*needle punched*) merupakan geotekstil yang paling kompresibel, oleh karena itu ketebalan geotekstil tersebut harus dipertimbangkan.



Keterangan: NW-NP = non woven-needle punched (disatukan dengan jarum); NW-HB = non woven-heat bonded (disatukan dengan panas)

Gambar 4.3: Hubungan Kompresibilitas terhadap Tebal Geotekstil

4.2.2. Kekuatan Tarik

Kuat Tarik dengan Cara Pita Lebar (Wide Width)

Kuat tarik didefinisikan sebagai tegangan tarik maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji pada titik keruntuhan. Seluruh aplikasi geosintetik bergantung pada sifat mekanik ini baik sebagai fungsi primer maupun fungsi sekunder.

Uji kuat tarik dengan cara pita lebar adalah menempatkan benda uji geosintetik pada suatu klem atau grip, kemudian menariknya dengan sampai terjadi keruntuhan atau putus (lihat Gambar 4.4). Standar pengujian kuat tarik dengan metoda pita lebar adalah:

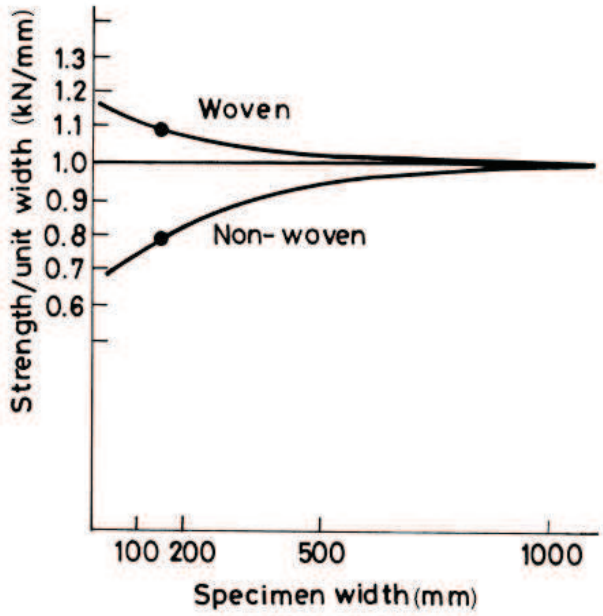
- SNI 08-4416-1997. Cara Uji Kekuatan Tarik dan Mulur Geotekstil Cara Pita Lebar.

- ISO 10319 : 2008. Geosynthetics – Wide-width Tensile Test.
- ASTM D4595–09. Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method.

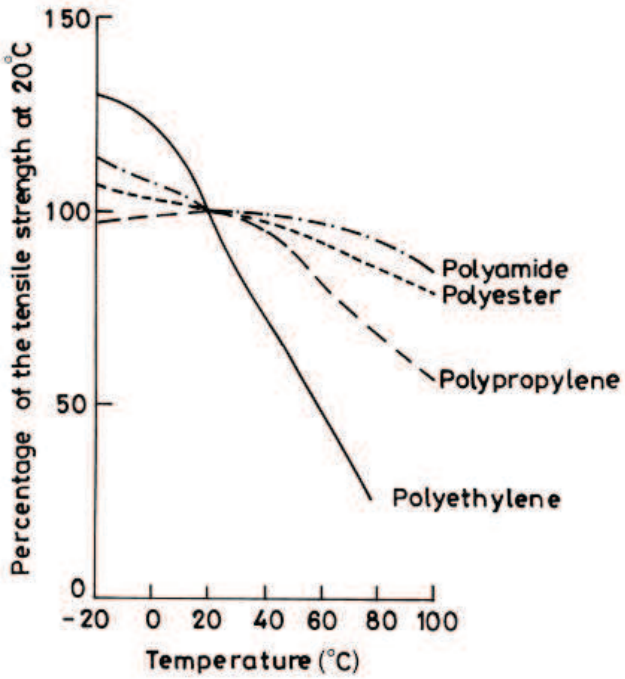
Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.4: Alat Uji Kuat Tarik Pita Lebar

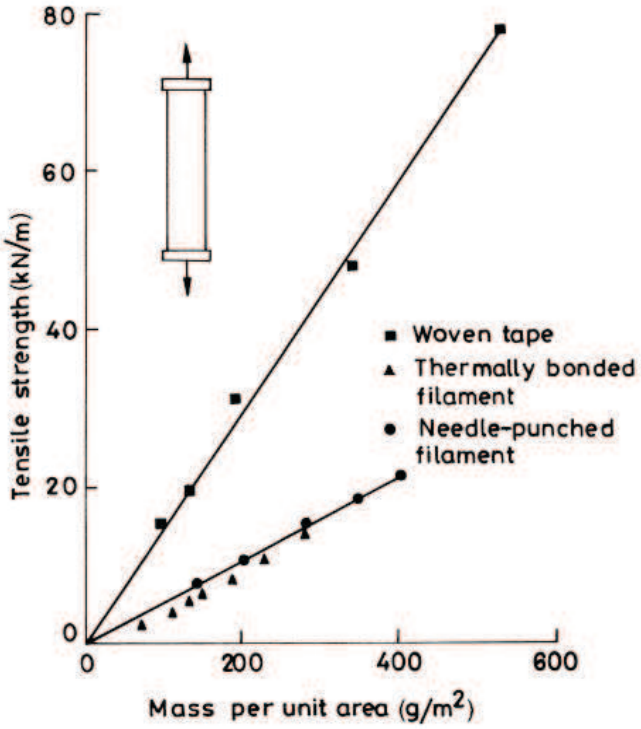
Beberapa hal yang berpengaruh terhadap kuat tarik adalah rasio lebar terhadap panjang benda uji, suhu dan kelembaban ruangan saat pengujian serta ketebalan geosintetik. Gambar 4.5 memperlihatkan kuat tarik terpengaruh oleh lebar benda uji. Oleh karena itu untuk meminimalkan pengaruh, SNI, ASTM dan ISO mensyaratkan ukuran lebar benda uji 200 mm dan panjang *gauge* (panjang sampel di luar penjepit) 100 mm. Semakin tinggi suhu ruangan saat pengujian maka kuat tarik geosintetik semakin rendah (Gambar 4.6) sehingga SNI, ASTM dan ISO mempersyaratkan suhu ruangan 21 ± 2°C dan kelembaban 65 ± 5 %. Gambar 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar massa maka kuat tarik semakin tinggi. Selain itu, kuat tarik geosintetik juga dipengaruhi oleh kecepatan penarikan. Semakin rendah kecepatan penarikan, maka kuat tarik semakin tinggi dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.5: Pengaruh Lebar Benda Uji



Gambar 4.6: Pengaruh Suhu terhadap Kuat Tarik



Gambar 4.7: Hubungan Massa Per Unit Area dan Kuat Tarik

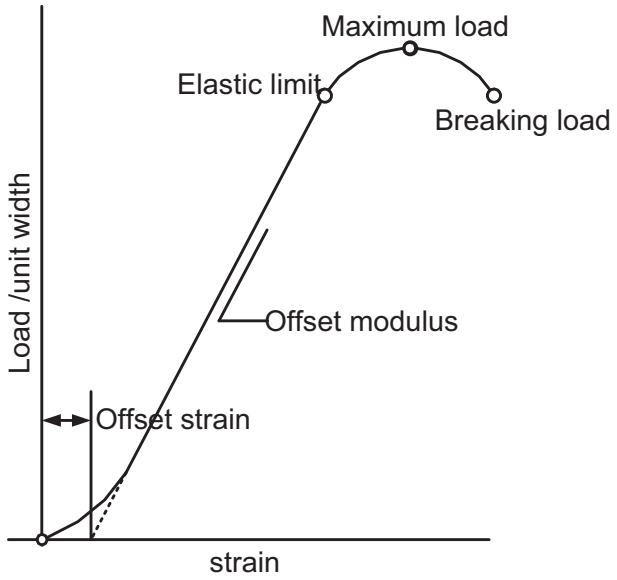
Selama pengujian, deformasi dan beban diukur secara menerus sehingga dapat dibuat kurva tegangan (beban per unit luas) terhadap regangan. Dari kurva tegangan-regangan dapat diperoleh tiga nilai penting yaitu:

1. Tegangan tarik maksimum (biasa disebut kekuatan geosintetik);
2. Regangan saat runtuh (biasa disebut elongasi maksimum atau elongasi);
3. Modulus elastisitas, yang merupakan kemiringan dari kurva tegangan-regangan bagian awal. Untuk menentukan kemiringan awal kurva metoda yang biasa digunakan adalah:
    a. Modulus tangen awal. Cara ini merupakan cara langsung untuk geotekstil teranyam dalam arah mesin atau melintang mesin dan untuk geotekstil tak-teranyam yang disatukan dengan panas. Pada kasus ini, kemiringan awal cukup linier dan nilai modulus yang akurat dapat diperoleh.

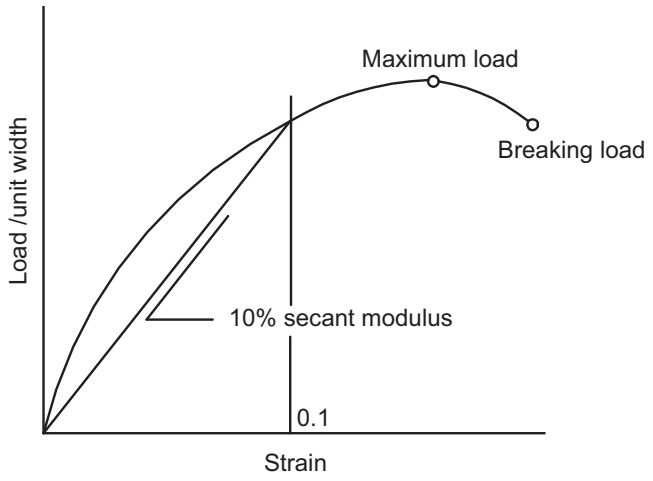
b. Modulus tangen ofset. Cara ini digunakan ketika kemiringan awal kurva sangat rendah dan biasanya terjadi pada geotekstil tak-teranyam needle-punched. Modulus ofset (atau disebut modulus kerja), adalah nilai maksimum tangen modulus yang diperoleh dari bagian linier kurva (lihat Gambar 4.8).

c. Modulus sekan. Untuk geosintetik yang tidak mempunyai bagian kurva yang linier seperti contoh pada Gambar 4.9, modulus didefinisikan sebagai modulus sekan pada nilai tertentu, biasanya 2%, 5% dan 10%.

Modulus elastisitas geosintetik menggambarkan deformasi yang dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan tarik pada geosintetik. Oleh karena itu, modulus tarik harus dipertimbangkan dalam desain sebab geosintetik harus menahan tegangan tarik dalam deformasi yang sesuai dengan deformasi tanah yang disyaratkan.

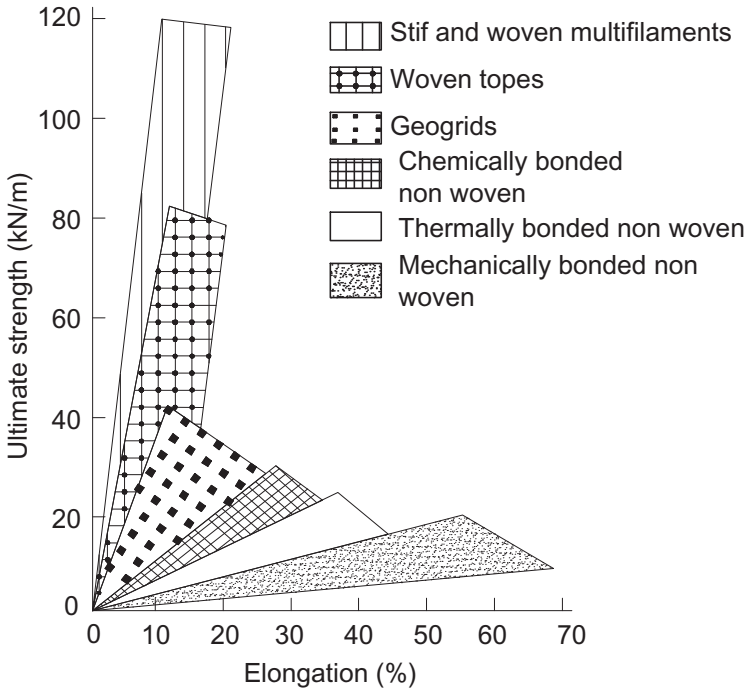


Gambar 4.8: Penentuan Modulus Tangen Ofset



Gambar 4.9: Modulus Sekan

Gambar 4.10 menampilkan tipikal sifat kekuatan geosintetik. Terlihat bahwa geotekstil teranyam mempunyai elongasi terendah dan kekuatan tertinggi dari seluruh geotekstil. Geogrid mempunyai kuat tarik dan modulus tarik yang tinggi pada tingkat regangan yang rendah bahkan pada regangan 2%. Geotekstil tak-teranyam yang diikat secara mekanis dengan hantaman jarum (*needle punched*) mempunyai elongasi yang lebih tinggi dibandingkan geotekstil tak-teranyam lainnya.



Gambar 4.10: Sifat Kekuatan Geosintetik Tipikal

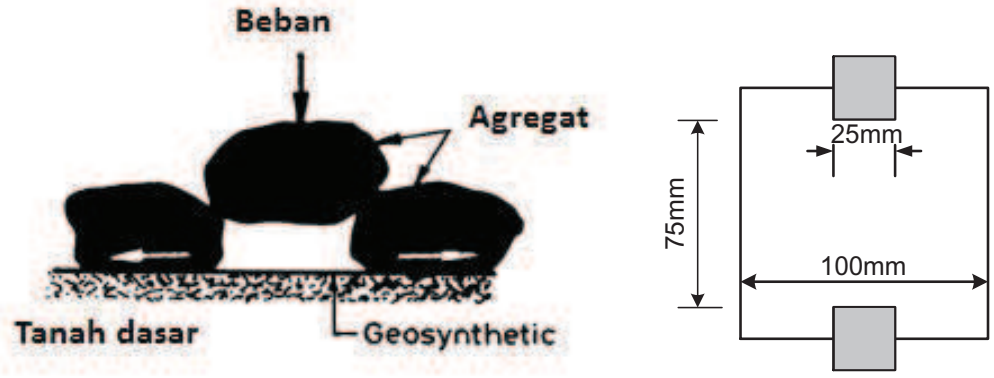
Kuat Grab

Salah satu cara uji kuat tarik selain uji cara pita lebar adalah uji grab seperti diperlihatkan pada Gambar 4.11. Uji ini pada dasarnya merupakan uji kuat tarik uniaksial seperti uji kuat tarik cara pita lebar, tetapi benda uji geosintetik selebar 101.6 mm dijepit dan ditarik sampai terjadi keruntuhan oleh *jaw* penjepit selebar 25.4 mm.

Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.11: Grip Alat Uji Kuat Grab

Uji ini merupakan simulasi terhadap kondisi lapangan seperti pada Gambar 4.12. Sangat sulit untuk menghubungkan kuat grab dengan kuat tarik pita lebar tanpa uji korelasi secara langsung. Oleh karena itu, kuat tarik grab hanya berguna sebagai uji kendali mutu atau uji penerimaan untuk geotekstil.



Gambar 4.12: Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Kuat Tarik Grab

Kuat Sambungan

Sering kita harus menyambung ujung atau tepi gulungan geotekstil atau geogrid seperti dijelaskan pada Bab 5. Standar pengujian kuat sambungan adalah:

- SNI 08-4330-1996. Cara Uji Kekuatan Jahitan Geotekstil.
- ASTM D 4884 – 96. Standard Test Method for Strength of Sewn or Thermally Bonded Seams of Geotextiles.
- ISO 13021. Geosynthetics – Tensile Test for Joints/Seams By Wide-Width Strip Method. Selain geosintetik, tata cara ISO ini mecakup pengujian sambungan geogrid.

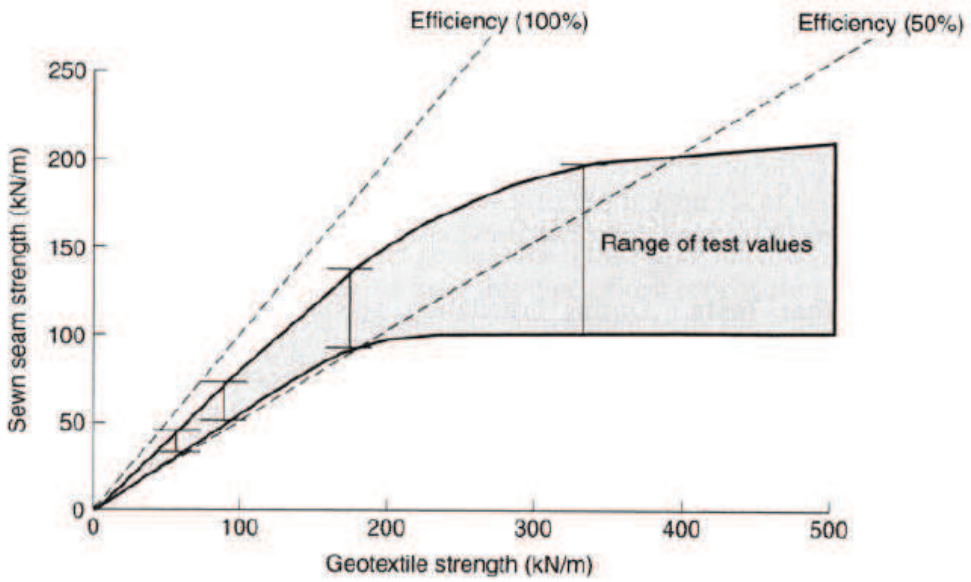
Kuat sambungan adalah tahanan tarik maksimal (kN/m) dari sambungan dua lembar geosintetik. Pengujian dilakukan dengan menarik contoh uji sepanjang 200mm yang disambung di bagian tengah hingga terjadi keruntuhan. Dari pengujian, didapat efisiensi sambungan (E) dalam persen sebagai berikut:

$$E = \left(\frac{T_s}{T_u} x100 \right)\% \qquad [4.1]$$

T_s = kekuatan sambungan geosintetik (kN/m).

T_u = kekuatan geosintetik tanpa sambungan (kN/m).

Idealnya, sambungan harus sama atau lebih kuat dari geosintetik sehingga tidak putus akibat tertarik. Pada kenyataannya di lapangan, efisiensi sambungan yang tinggi sulit diperoleh. Gambar 4.13 memperlihatkan semakin tinggi kuat tarik geotekstil, maka efisiensi sambungan semakin rendah. Batas atas kurva merupakan sambungan di pabrik sedangkan batas bawah adalah sambungan yang buruk di lapangan. Di atas 50 kN/m, efisiensi sambungan di bawah 75%, sedangkan di atas 200-250 kN/m efisiensi paling tinggi sekitar 50%.



Gambar 4.13. Perilaku Kuat Sambungan terhadap Kuat Tarik Geotekstil Tanpa Sambungan

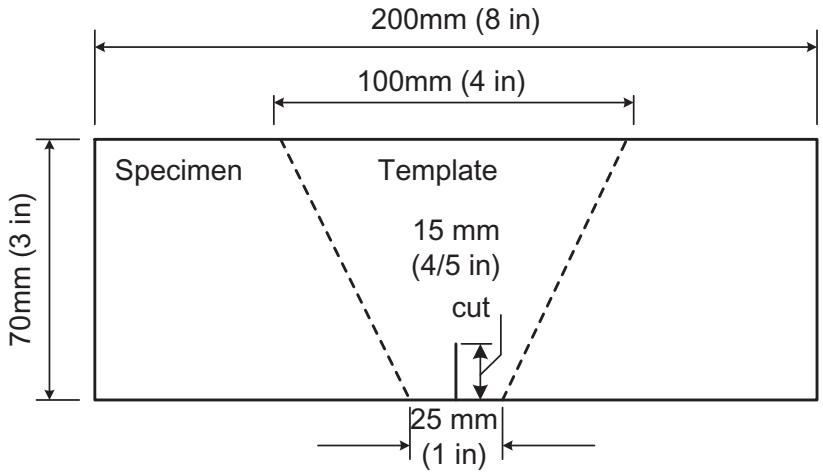
4.2.3. Daya Bertahan (*Survivability*)

Sifat daya bertahan berhubungan dengan ketahanan geosintetik pada saat instalasi di lapangan. Sifat-sifat tersebut adalah:

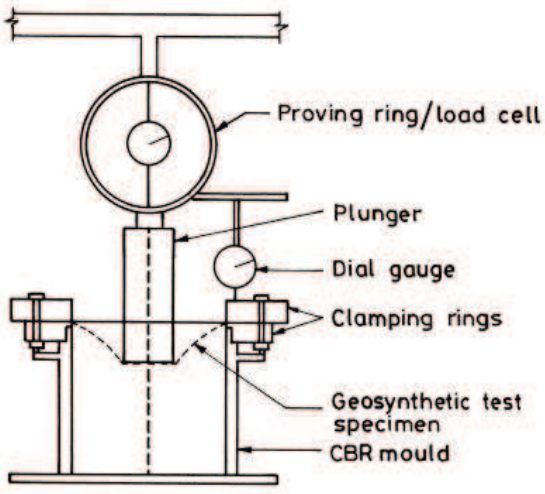
- Kuat robek: kemampuan geosintetik menahan tegangan yang menyebabkan terjadinya penambahan panjang robekan dari robekan yang sudah ada. Biasanya hal ini terjadi saat instalasi. Uji kuat sobek sama seperti kuat tarik tapi dengan sampel yang diberi sobekan awal sepanjang 15 mm (lihat Gambar 4.14).
- Kuat tusuk: kemampuan geosintetik menahan tegangan lokal yang diakibatkan oleh tusukan benda seperti batu, akar tanaman. Uji kuat tusuk disebut juga uji CBR (*California Bearing Ratio*) karena menggunakan metoda yang hampir sama dengan CBR. Skema dan foto alat uji diperlihatkan pada Gambar 4.15).
- Kuat tusuk dinamis: kemampuan geosintetik menahan tegangan akibat benturan benda dan penetrasi dari benda jatuh seperti batu, alat bantu konstruksi, selama proses pemasangan geosintetik.

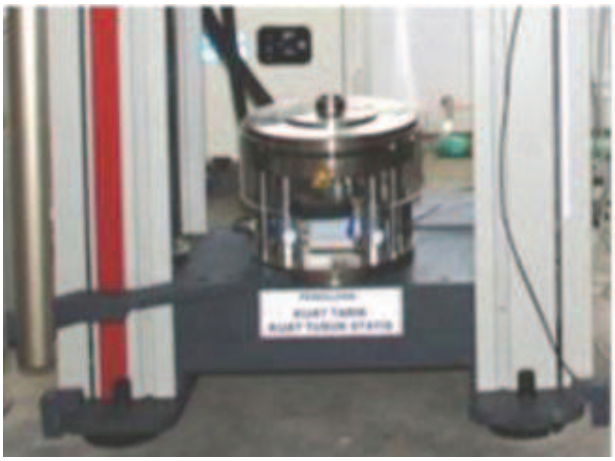
Prinsip pengujian kuat tusuk dinamis adalah dengan menjatuhkan konus tajam pada ketinggian tertentu (lihat Gambar 4.16)

- Kuat jebol: kemampuan geosintetik menahan tekanan normal ketika terkekang di segala arah. Kuat jebol mensimulasikan kondisi di lapangan seperti pada Gambar 4.17.
- Kuat fatig: kemampuan geosintetik menahan beban berulang sebelum terjadinya keruntuhan.



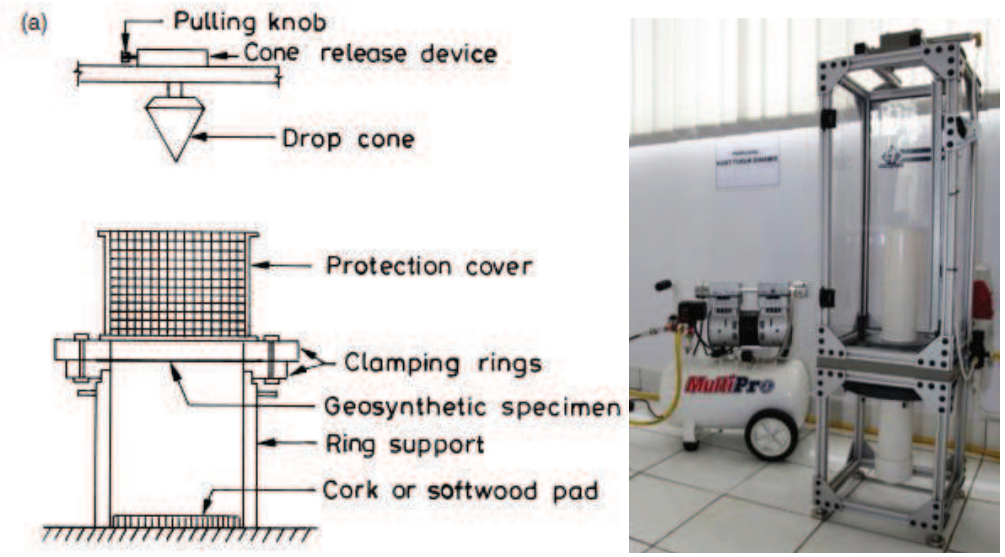
Gambar 4.14. Benda Uji Kuat Sobek (ASTM D 4533-91)





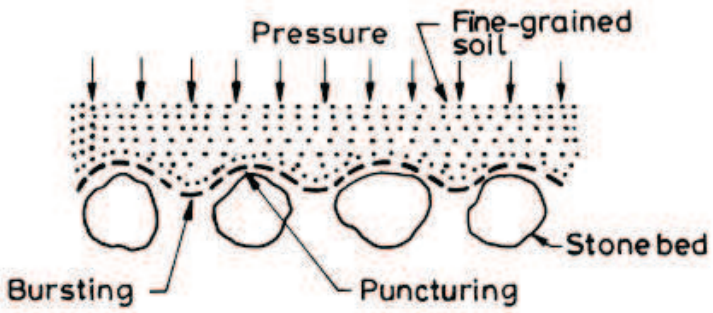
Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.15. Alat Uji Kuat Tusuk



Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.16. Alat Uji Kuat Tusuk Dinamis



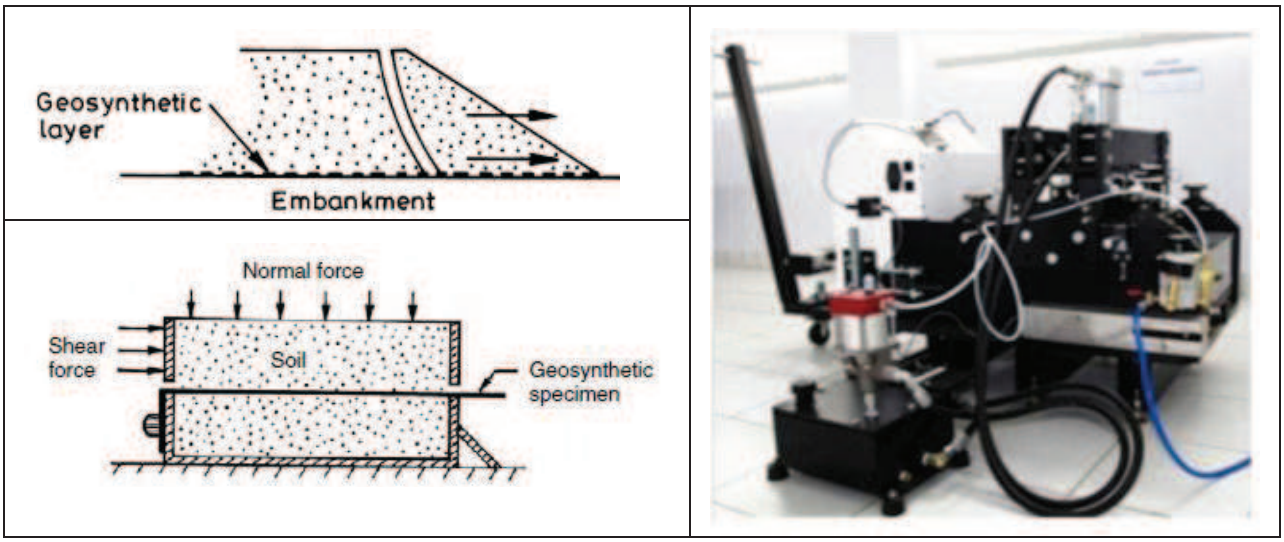
Gambar 4.17. Kondisi Lapangan yang Membutuhkan Kuat Jebol dan Kuat Tusuk

4.2.4. Interaksi Tanah dengan Geosintetik

Jika geosintetik digunakan sebagai perkuatan tanah, harus terjadi ikatan antara tanah dengan geosintetik untuk mencegah tanah tergelincir di atas geosintetik atau geosintetik tercabut dari tanah ketika kuat tarik termobilisasi pada geosintetik. Ikatan antara tanah dan geosintetik tergantung dari interaksi pada bidang kontaknya. Interaksi tanah geosintetik (karakteristik gesek dan/atau kuncian/*interlocking*)

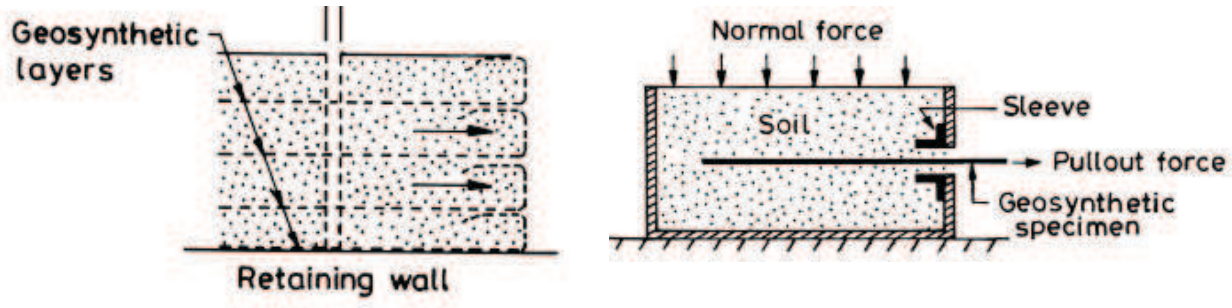
merupakan elemen kunci dari kinerja dinding penahan tanah, lereng dan timbunan yang diperkuat geosintetik.

Pengujian yang dilakukan adalah dengan uji geser langsung dan uji cabut. Uji geser langsung prinsipnya adalah menggeser box bagian atas benda uji tanah yang berada di atas geosintetik. Penggeseran dilakukan pada minimal tiga benda uji dengan tegangan normal yang berbeda (lihat Gambar 4.18). Uji cabut dilakukan dengan mencabut geosintetik yang berada di antara contoh tanah dengan tegangan normal (lihat Gambar 4.13).



Sumber foto: Alat uji di Puslitbang Jalan dan Jembatan

Gambar 4.18. Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Geser Langsung



Gambar 4.19. Simulasi Kondisi Lapangan dengan Uji Cabut Laboratorium

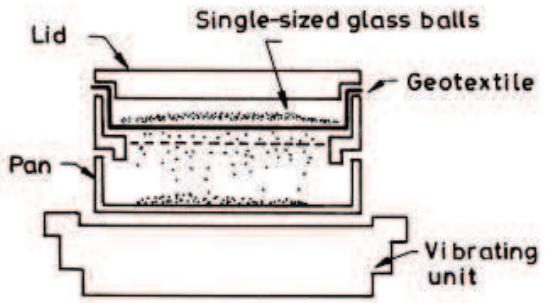
4.3. Sifat Hidrolik

4.3.1. Ukuran Pori-pori Geotekstil

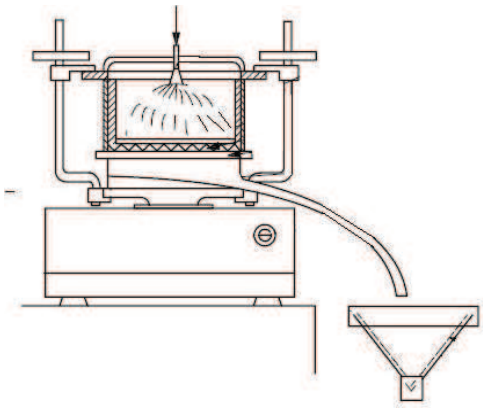
ASTM D 4751-99a, *Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile*, mendefinisikan ukuran pori-pori geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*) sebagai suatu sifat yang mengindikasikan perkiraan partikel terbesar yang akan secara efektif melewati geoteksil dengan simbol O_{95}. Sebuah benda uji geosintetik ditempatkan di atas pan penampung, dan pasir standar disimpan di atas permukaan benda uji geotekstil. Geotekstil dan pan tersebut digetarkan secara lateral sampai berat pasir sehingga pasir dapat melewati geotekstil dengan cara kering. Prosedur tersebut diulang lagi pada benda uji yang sama tapi dengan ukuran pasir yang lebih besar hingga berat pasir yang melewati contoh uji geotekstil mencapai kurang dari 5%.

ISO 12956, *Geotextiles And Geotextile-Related Products — Determination of the Characteristic Opening Size* memberikan tata cara pengujian ukuran pori-pori geotekstil dengan cara basah. Ukuran pori-pori geotekstil menurut ISO 12956 adalah ukuran bukaan (*opening*) yang sama dengan ukuran partikel d_{90} dari bahan berbutir yang lolos geotekstil. d_{90} adalah ukuran partikel dimana 90% berat fraksi lebih kecil daripada total berat partikel yang diukur. Prinsip pengujiannya adalah dengan mencuci bahan berbutir bergradasi (biasanya tanah) dan dengan menggetarkan mesin pengayak melalui selembar contoh uji geotekstil sebagai sebuah saringan.

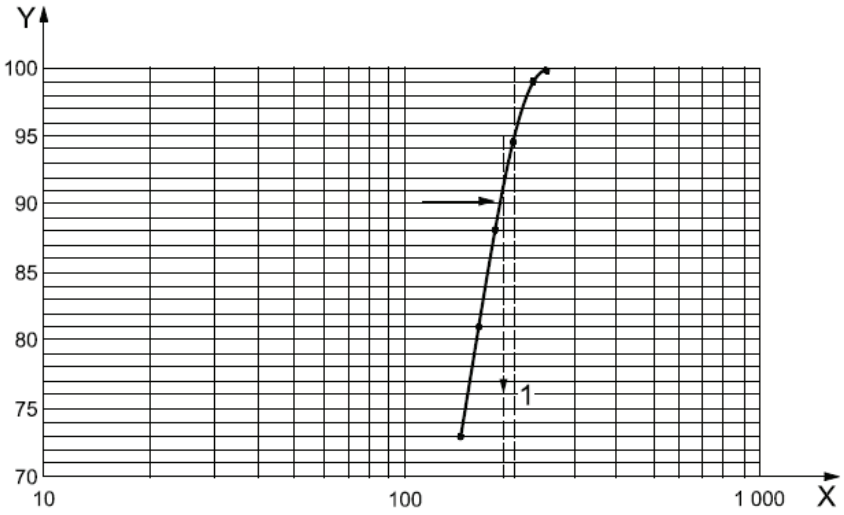
Gambar 4.20 memperlihatkan skema pengujian ukuran pori-pori geotekstil dengan cara kering dan cara basah.



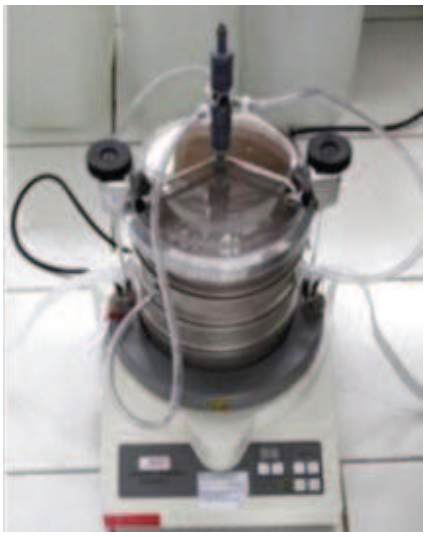
a. Uji Kering (ASTM D 4751-99a)



b. Uji Basah (ISO 12956)



c. Contoh Hasil Pengujian



d. Foto Alat Uji Ukuran Pori (Puslitbang Jalan dan Jembatan)

Gambar 4.20. Pengujian Ukuran Pori-pori Geoteksil

4.3.2. Permeabilitas Geosintetik

Permeabilitas adalah kemampuan geosintetik untuk mengalirkan air. Permeabilitas geosintetik dapat dibagi menjadi dua:

1. Permeabilitas tegak lurus bidang atau disebut sifat daya tembus air dalam SNI SNI 08-6511-2001. Menurut ASTM D 4491 daya tembus air disebut *water permeability of geotextiles by permittivity*, sedangkan ISO 11058 menyebutnya sebagai *water permeability characteristics normal to the plane*.
2. Kapasitas pengaliran air sejajar bidang geosintetik, atau *transmissivity* menurut istilah ASTM D 67-6-00 atau *water flow capacity in their plane* menurut istilah ISO 12958. Seperti dijelaskan di Bab 3 (lihat Gambar 3.1 dan Tabel 3.4), permeabilitas tegak lurus bidang perlu diketahui jika kita menggunakan geosintetik untuk filter. Permeabilitas sejajar bidang diperlukan saat kita akan menggunakan geosintetik untuk drainase, misalnya drainase di balik dinding penahan tanah.

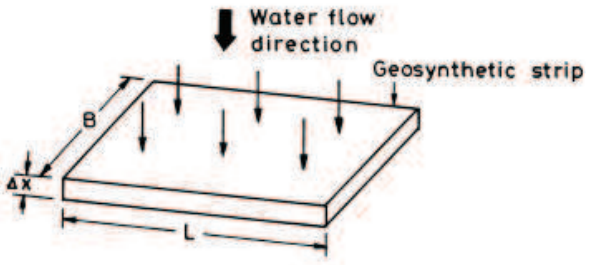
Daya tembus air (*permittivity*) adalah kecepatan aliran volumetrik per luas geosintetik per unit tinggi tekan, pada kondisi aliran laminer dalam arah tegak lurus bidang geosintetik (lihat Gambar 4.21). Hukum Darcy untuk permeabilitas daya tembus air dapat ditulis:

$$Q_n = k_n \frac{\Delta h}{\Delta x}(L.B) = \psi.\Delta h.A_n \qquad [4.2]$$

Dimana:

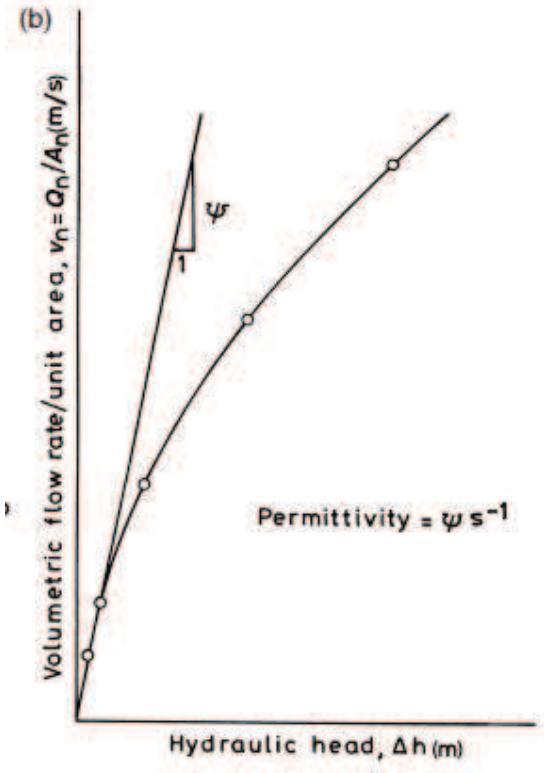
- Q_n = aliran air volumetrik (debit) tegak lurus bidang geosintetik (m^3/detik).
- k_n = koefisien permeabilitas tegak lurus bidang geosintetik (m/detik)
- Δh = tinggi tekan (*head*) yang menyebabkan terjadinya aliran (m).
- Δx = tebal geosintetik (m)

- L = panjang benda uji geosintetik (m).
- B = lebar benda uji geosintetik (m).
- A_n = L.B = luas benda uji geosintetik (m2)
- $\psi = k_n.\Delta x$
- ψ = *permittivity* geosintetik (detik^{-1})



Aliran normal air melalui benda uji geosintetik

Alat uji daya tembus air geosintetik



Definisi *Permittivity*

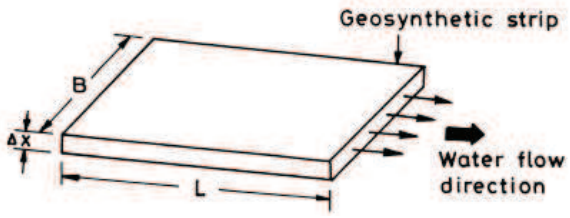
Gambar 4.21. Daya Tembus Air Geosintetik

Kapasitas pengaliran air sejajar bidang geosintetik atau *transmissivity* merupakan koefisien produk dari koefisien permeabilitas untuk aliran air sejajar bidang geosintetik dan tebal geosintetik (lihat Gambar 4.22). Sifat *transmissivity* didefinisikan sebagai:

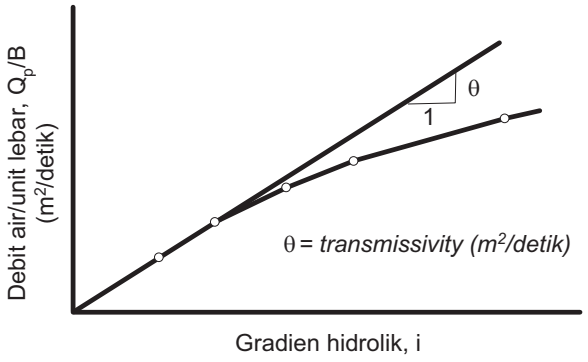
$$Q_p = k_p \frac{\Delta h}{L} A_p = k_p \frac{\Delta h}{L} \left(B.\Delta x \right) = \theta.i.B \qquad [4.3]$$

Dimana:

- Q_p = aliran air volumetrik (debit) sejajar bidang geosintetik (m^3/detik).
- k_p = koefisien permeabilitas sejajar bidang geosintetik (m/detik)
- $A_p = B.\Delta x$ = luas potongan melintang benda uji geosintetik (m^2).
- Δh = tinggi tekan (*head*) yang menyebabkan terjadinya aliran (m).
- Δx = tebal geosintetik (m)
- L = panjang benda uji geosintetik (m).
- B = lebar benda uji geosintetik (m).
- $\theta = k_p . \Delta x$
- θ = *transmissivity* geosintetik (m^2/detik)
- $i = \Delta h/L$ = gradien hidrolik



Aliran air sejajar benda uji geosintetik



Definisi

Alat uji aliran air sejajar bidang geosintetik

Gambar 4.22. Aliran Air Sejajar Bidang Geosintetik

4.4. Daya Tahan dan Degradasi

Daya tahan (*endurance*) dan degradasi merupakan sifat geosintetik dalam jangka panjang. Daya tahan terdiri dari perilaku rangkak, daya tahan abrasi, kemampuan pengaliran jangka panjang, durabilitas dan sebagainya. Pada Sub Bab ini diterangkan beberapa sifat penting saja.

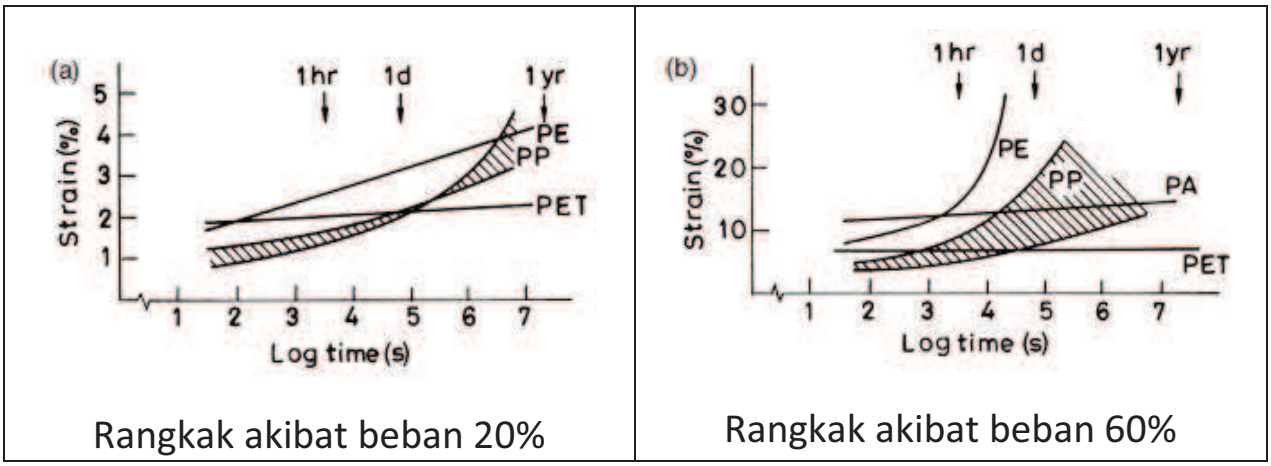
4.4.1. Rangkak

Rangkak (*creep*) adalah elongasi geosintetik akibat beban konstan. Perilaku rangkak dari geosintetik perlu dievaluasi mengingat sifat polimer merupakan bahan yang sensitif terhadap rangkak.

Rangkak adalah faktor yang penting untuk struktur dengan geosintetik seperti dinding penahan tanah, perkuatan lereng, perkuatan dan timbunan di atas tanah lunak. Dalam aplikasi tersebut, diperlukan geosintetik yang tahan terhadap tegangan tarik dalam jangka waktu yang lama (biasanya lebih dari 75 tahun).

Uji rangkak di laboratorium dilakukan dengan menggantungkan beban pada benda uji geosintetik. Pemilihan beban sangat penting dan didasarkan dari persentasi kuat tarik geosintetik, biasanya sebesar 20%, 40% dan 60%. Beban diterapkan pada benda uji geosintetik selama 1.000 sampai 10.000 jam dan pembacaan deformasi diambil pada jangka waktu tertentu (misalnya bacaan pada menit ke 1, 2, 5, 10, 30 kemudian 1, 2, 5, 10, 30, 100, 250, 750 dan 1000 jam). Untuk uji rangkak lebih dari 1000 jam, biasanya pembacaan tiap 250 hari sudah mencukupi. Deformasi diukur dengan LVDT atau alat pencatat elektronik lainnya. Tata cara uji adalah ASTM D 5262 atau ISO 13431.

Gambar 4.23 memperlihatkan hasil uji rangkak terhadap benang dari berbagai jenis polimer. Terlihat bahwa rangkak sangat dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang bekerja dan jenis polimer, dalam hal ini PE dan PP lebih sensitif terhadap rangkak dibandingkan dengan PET.



Rangkak akibat beban 20% | Rangkak akibat beban 60%

Gambar 4.23. Hasil Uji Rangkak dari Berbagai Jenis Polimer

4.4.2. Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan geosintetik untuk mempertahankan sifat awalnya terhadap pengaruh lingkungan atau pengaruh lainnya selama umur rencananya. Sifat ini berhubungan dengan perubahan mikrostruktur polimer dan makrostruktur geosintetik. Durabilitas geosintetik sangat tergantung pada komposisi polimer pembentuknya. Durabilitas geosintetik dapat diidentifikasi dengan pengamatan visual atau pengamatan mikroskopis untuk memberikan prediksi perubahan sifat secara kuantitatif antara geosintetik yang terpapar dan tidak terpapar oleh faktor lingkungan atau faktor-faktor lainnya, misalnya perubahan warna, kerusakan pada serat individual (akibat serangan mikrobiologi, degradasi permukaan, atau retak tegangan), dan sebagainya.

Biasanya durabilitas diukur hasil pengujian terhadap sifat mekanis dan tidak berdasarkan perubahan mikrostruktur yang mengakibatkan perubahan sifat mekanis. Durabilitas dinilai sebagai persentase kuat tarik sisa dan/atau persentase regangan sisa sebagai berikut:

$$R_T = \frac{T_e}{T_u} x100\% \qquad [4.4]$$

Dimana

R_T = kuat tarik sisa (kN/m)

T_e = kuat tarik rata-rata dari geosintetik yang terpapar (*exposed)*

T_u = kuat tarik rata-rata dari geosintetik yang tidak terpapar

$$R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_u} x100\% \qquad [4.5]$$

Dimana

R_ε = regangan sisa (kN/m)

ε_e = regangan rata-rata pada beban maksimum dari geosintetik yang terpapar

ε_u = regangan rata-rata pada beban maksimum dari geosintetik yang tidak terpapar

Pengaruh lingkungan dan kondisi lapangan terhadap durabilitas geosintetik harus ditentukan dengan pengujian yang sesuai. Pemilihan jenis pengujian yang sesuai harus mempertimbangkan parameter desain, fungsi primer geosintetik dan/atau karakteristik kinerja geosintetik yang sesuai dengan kondisi lapangan dan lingkungan. Perlu diketahui bahwa struktur fisik geosintetik, jenis polimer yang digunakan, proses pembuatan, kondisi lingkungan, kondisi tempat penyimpanan dan pemasangan serta beban yang ditahan oleh geosintetik merupakan parameter yang beerpengaruh terehadap durabilitas geosintetik.

Durabilitas geosintetik juga termasuk daya bertahan (*survivability)* saat konstruksi atau selama pemasangan. Saat pemasangan, geosintetik dapat mengalami kerusakan mekanis (abrasi, robek atau berlubang) karena penempatan dan pemadatan bahan timbunan di atasnya. Pada

beberapa kasus, tegangan akibat pemasangan dapat lebih berbahaya daripada tegangan aktual yang direncanakan. Tingkat kerusakan mekanik berhubungan dengan kekasaran dan kebundaran (*angularity*) dari bahan timbunan yang kontak dengan geosintetik dan dengan alat berat pemadat. Kerusakan mekanik dapat mengurangi kuat tarik geosintetik, dan ketika terjadi lubang, hal ini akan berpengaruh terhadap sifat hidrolik geosintetik.

Terjadinya kerusakan mekanik dan dampak kerusakan tersebut dapat diukur dengan melakukan uji lapangan atau mensimulasikan pengaruhnya melalui suatu percobaan. Pengaruh kerusakan mekanik dinyatakan sebagai rasio dari sifat mekanik yang rusak terhadap sifat material yang tidak rusak. Rasio tersebut dapat digunakan sebagai faktor keamanan parsial dalam desain perkuatan geosintetik. Faktor keamana parsial digunakan untuk mengurangi kekuatan karakteristik geosintetik. Secara umum, semakin kuat geosintetik, semakin tinggi ketahanannya terhadap kerusakan saat pemasangan.

Durabilitas juga berarti perubahan sifat geosintetik selama umur rencana struktur. Seluruh geosintetik dapat terpapar pengaruh pelapukan selama penyimpanan di pabrik dan di lokasi konstruksi sebelum dipasang. Ketahanan terhadap pelapukan sangat penting bagi kinerja geosintetik terutama akibat pengaruh iklim seperti radiasi matahari, panas, kelembaban dan pembasahan. Dalam umur rencananya, sebagian besar geosintetik akan tertutup tanah. Jika geosintetik tidak akan ditutup langsung saat instalasi, maka harus dilakukan uji pelapukan yang dipercepat (*accelerated weathering test*). Prinsip pengujiannya, adalah dengan mempapar geosintetik terhadap simulasi radiasi ultraviolet (UV) dengan berbagai macam tingkat cahaya dengan beberapa siklus suhu dan kelembaban yang berbeda. Kekuatan sisa geosintetik di akhir pengujian akan menentukan lamanya waktu geosintetik yang akan terpapar di lapangan. Simulasi uji pelapukan lanjutan dibutuhkan untuk geosintetik yang akan terekspos dalam jangka waktu yang lebih lama. Jika geosintetik akan digunakan untuk

perkuatan, harus digunakan faktor keamanan parsial yang sesuai untuk mengurangi kekuatannya.

Umumnya, ketika suhu lingkungan meningkat, kekuatan, sifat rangkak dan durabilitas geosintetik akan memburuk. Bahkan jika geosintetik terpapar panas, akan terjadi perubahan struktur kimia dari geosintetik yang akan mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisik dan perubahan tampilan dari suatu polimer. Geosintetik terpapar suhu tinggi hanya saat geosintetik digunakan dalam perkerasan beraspal. Aplikasi ini membutuhkan PP grid daripada PE karena daya tahan suhunya lebih tinggi.

Geosintetik dapat terdegradasi ketika terpapar komponen sinar ultraviolet dari cahaya matahari (panjang gelombang kurang dari 400 nm). Sinar ultraviolet merangsang terjadinya oksidasi dengan memotong rantai molekul dari polimer. Jika proses ini dimulai, degradasi rantai molekul akan terus berlanjut sehingga struktur molekul awal akan berubah. Sebagai akibatnya, terjadi penurunan tahanan mekanis dan geosintetik akan menjadi getas. Pada hampir semua aplikasi, geosintetik terpapar sinar ultraviolet hanya sebentar saat penyimpanan, pemindahan, dan instalasi yang kemudian akan tertutup oleh lapisan tanah. Oleh karena itu, degradasi terhadap sinar ultraviolet tidak menjadi perhatian utama jika prosedur penempatan dan pemasangan dilakukan dengan benar.

Umumnya, geosintetik berwarna putih atau abu-abu biasanya merupakan geosintetik yang paling peka terhadap degradasi sinar ultraviolet. Karbon hitam atau zat penstabil lainnya ditambahkan ke polimer selama proses produksi untuk membuat geosintetik lebih tahan terhadap degradasi sinar ultraviolet dalam jangka panjang.

Geosintetik dapat bersentuhan dengan zat kimia atau lindi yang bukan berasal dari tanah. Jika hal ini terjadi, maka harus dilakukan pengujian khusus untuk menilai degradasi geosintetik terhadap zat kimia. Zat kimia atau lindi tersebut dapat menyebabkan pengurangan berat molekul polimer yang menyebabkan berubahnya sifat-sifat geosintetik.

Seluruh material polimer mempunyai kecenderungan menyerap air sepanjang waktu. Air yang diserap menyebabkan pemotongan rantai dan pengurangan berat molekul polimer bersamaan dengan terjadinya pengembangan (swelling). reaksi degradasi kimia ini disebut hidrolisis. Akan tetapi, hidrolisis biasanya tidak terlalu berpengaruh untuk menyebabkan perubahan sifat mekanik atau hidrolik geosintetik.

Untuk geosintetik, oksidasi dan hidrolisis merupakan bentuk umum degeadasi kimia karena ini merupakan proses yang melibatkan zat pelarut. Umumnya, degradasi kimia dipercepat dengan peningkatan suhu karena proses ini membutuhkan energi aktivasi yang cukup tinggi. Di lapangan, temperatur lingkungan biasanya tidak terlalu tinggi, oleh karena itu tidak menyebabkan degradasi berlebihan sepanjang masa layan geosintetik. Sebagian besar geosinetik mempunyai masa layan 25 tahun selama digunakan pada tanah dengan pH antara 4 dan 9 dan pada suhu kurang dari 25°C.

Jika geosintetik digunakan pada lingkungan yang unik, perlu dilakukan penilaian kondisi lingkungan yang berpotensi menyebabkan degradasi polimer. Ketahanan geosintetik terhadap serangan kimia yang spesifik (misalnya pada lingkungan dengan kadar basa tinggi, pH>9, atau kadar asam tinggi, pH<4) harus diuji.

Degradasi makrobiologi merupakan serangan dan perusakan fisik geosintetik oleh makroorganisme (contoh serangga, hewan pengerat atau hewan lainnya) yang menyebabkan perubahan sifat fisik geosintetik. Degradasi mikrobiologi adalah serangan kimia terhadapa polimer geosintetik akibat enzim atau zat kimiia lainnya yang dikeluarkan oleh mikroorganisme (misalnya bakteri, jamur, lumut, ragi, dan sebagainya) yang mrnyebabkan pengurangan berat molekul dan perubahan sifat-sifat fisik geosintetik. Seluruh resin geosintetik mempunyai berat molekul yang tinggi dan mempunyai sedikit ujung rantai untuk menyebabkan dimulainya degradasi biologis. Oleh karena itu, geosintetik yang dibuat dengan berat molekul polimer yang tinggi umumnya tidak terpengaruh oleh serangan biologi.

4.5. Sifat-sifat Ijin Geosintetik

Tabel 3.4 memperlihatkan sifat-sifat geosintetik yang berhubungan dengan fungsi utama dari geosintetik. Sifat-sifat tersebut biasa disebut sifat fungsional. Perlu diingat bahwa karakteristik interaksi tanah-geosintetik diperlukan untuk perkuatan dan separator. Data sifat rangkak dapat dibutuhkan untuk memberei indikasi ketahanan menahan beban dalam jangka panjang ketika geosintetik digunakan untuk perkuatan. Data kuat tusuk statik dibutuhkan jika kondisi lapangan beerpotensi untuk menyebabkan tusuk pada geosintetik.

Geosintetik akan menghadapi kondisi tanah dan lingkungan yang menyebabkan pengurangan kinerjanya. Sifat-sifat geosintetik akan berubah oleh beberapa faktor seperti penuaan (*ageing*), kerusakan mekanis, rangkak, hirdolisis atau reaksi dengan air, serangan kimia dan biologi, dan sebagainya. Faktor-faktor tersebut harus dipertimbangkan jika menggunakan geosintetik. Sebagai contoh, suatu faktor reduksi harus digunakan ketika menghitung pengurangan kekuatan yang diakibatkan faktor-faktor tersebut.

Untuk menentukan sifat-sifat geosintetik pada akhir umur rencananya, gunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Sifat fungsional ijin} = \frac{\text{Sifat fungsional hasil uji}}{f_1.f_2.f_3.....}$$

dimana f_1, f_2, f_3 adalah fajtor-faktor reduksi atau faktor keamanan parsial untuk mengakomodir perbedaan antara hasil pengujian laboratorium dengan kondisi lapangan. Faktor-faktor reduksi tersebut menggambarkan proses degradasi yang sesuai dan nilainya sama atau lebih dari dari satu.

Sebagai contoh, hasil uji kuat tarik laboratorium biasanya merupakan nilai ultimit yang harus direduksi sebelum digunakan dalam desain. Reduksi tersebut dihitung dengan persamaan:

$$T_a = T_{ult}\left[\frac{1}{RF_{ID}.RF_D.RF_{CR}}\right]$$

Dimana:

T_a kuat tarik ijin

T_{ult} kuat tarik ultimit

RF_{ID} faktor reduksi kerusakan saat instalasi; Nilainya bervariasi antara 1,05 sampai dengan 3,0, tergantung pada gradasi material timbunan dan berat geosintetik per berat isi. Nilai minimum biasanya diambil 1,1;

RF_D faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme, senyawa kimia, oksidasi panas dan retak tegangan (*stress cracking*). Nilainya bervariasi antara 1,1 sampai dengan 2,0. Faktor reduksi minimum adalah 1,1.

RF_{CR} faktor reduksi rangkak, yaitu perbandingan kuat tarik puncak terhadap kuat batas rangkak dari uji rangkak di laboratorium. Tabel 4.1 memperlihatkan rentang umum nilai RF_{CR} untuk geosintetik berjenis polimer;

Tabel 4.1. Rentang Faktor Reduksi Rangkak

Jenis polimer	RF_{CR}
Poliester	1,6 – 2,5
Polipropilena	4,0 – 5,0
Polietilena	2,6 – 5,0

4.6. Pengambilan Contoh Geosintetik Untuk Pengujian

Selama proses produksi, variabilitas sifat geosintetik dapat terjadi seperti halnya bahan konstruksi lainnya. Oleh karena itu pengambilan

contoh geosintetik yang representatif untuk diuji di laboratorium sangatlah penting untuk meyakinkan bahwa geosintetik yang diterima di lapangan sesuai dengan yang direncanakan.

SNI 08-4419-1997 (Cara Pengambilan Contoh Geotekstil Untuk Pengujian) yang merupakan adopsi dari ASTM D 4354 – 99 (*Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing*) memberikan pedoman cara pengambilan contoh geosintetik untuk diuji di laboratorium. Dalam standar tata cara tersebut, terdapat tiga prosedur pengambilan sampel yaitu:

- Prosedur A: prosedur untuk uji kendali mutu oleh pabrik pembuat geosintetik atau *manufacturer's quality control (MQC).*
- Prosedur B: prosedur untuk uji jaminan mutu oleh pabrik pembuat geosinetik atau *manufacturer's quality assurance (MQA)*. MQA dilakukan secara internal oleh pabrik untuk menjamin keberlangsungan program pengendalian mutu atau MQC. Jika pembeli membutuhkan sertifikasi pabrik, maka pengujian MQA harus dilakukan oleh laboratorium eksternal.
- Prosedur C: prosedur untuk uji kesesuaian terhadap spesifikasi pembeli geosintetik atau *purchaser's conformance specification testing*.

Untuk ketiga prosedur tersebut diatas, langkah penentuan jumlah contoh uji geosintetik secara garis besar diberikan pada Tabel 4.2. Untuk lebih lengkapnya, Peserta Pelatihan disarankan untuk membaca SNI 08-4419-1997 dan ASTM D 4354–99. Perlu diketahui bahwa definisi lot adalah suatu unit dari produksi, atau kemasan, yang mempunyai sifat yang sama dan dapat dengan mudah dipisahkan dari unit lainnya. Lot ini akan diambil untuk contoh uji laboratorium atau untuk pemeriksaan statistik.

Tabel 4.2. Langkah Penentuan Contoh Geosintetik untuk Pengujian

Langkah	Prosedur
1. Tentukan jumlah lot	- Untuk Prosedur A dan Prosedur B, lot adalah suatu unit produksi geosintetik dengan spesifikasi, bentuk atau karakteristik-karakteristik fisik yang sama. Jika dihasilkan oleh pabrik yang berbeda maka unit produksi ini merupakan lot yang berbeda. - Untuk Prosedur C, lot adalah paket geosintetik yang dikirimkan ke pembeli dengan spesifikasi, bentuk atau karakteristik-karakteristik fisik yang sama. Satu kemasan pengiriman dapat terdiri dari beberapa gulungan (*roll*) geosintetik. Jika geosintetik yang dikirimkan berasal dari pabrik yang berbeda maka kemasan geosintetik ini merupakan lot yang berbeda.
2. Tentukan jumlah contoh uji lot (*lot sample*) atau jumlah gulungan (*roll*)	Untuk menentukan jumlah gulungan (*roll*) geosintetik yang diperlukan: - Prosedur A gunakan Tabel 4.3. - Prosedur B dan C gunakan Tabel 4.4.
3. Tentukan jumlah contoh uji laboratorium (*laboratory sample*)	Ditentukan berdasarkan jenis pengujian yang disyaratkan.
4. Tentukan jumlah benda uji laboratorium (*test specimen*)	Ditentukan Berdasarkan jenis pengujian yang disyaratkan.

Tabel 4.3: Penentuan Jumlah Contoh Uji Lot Prosedur A

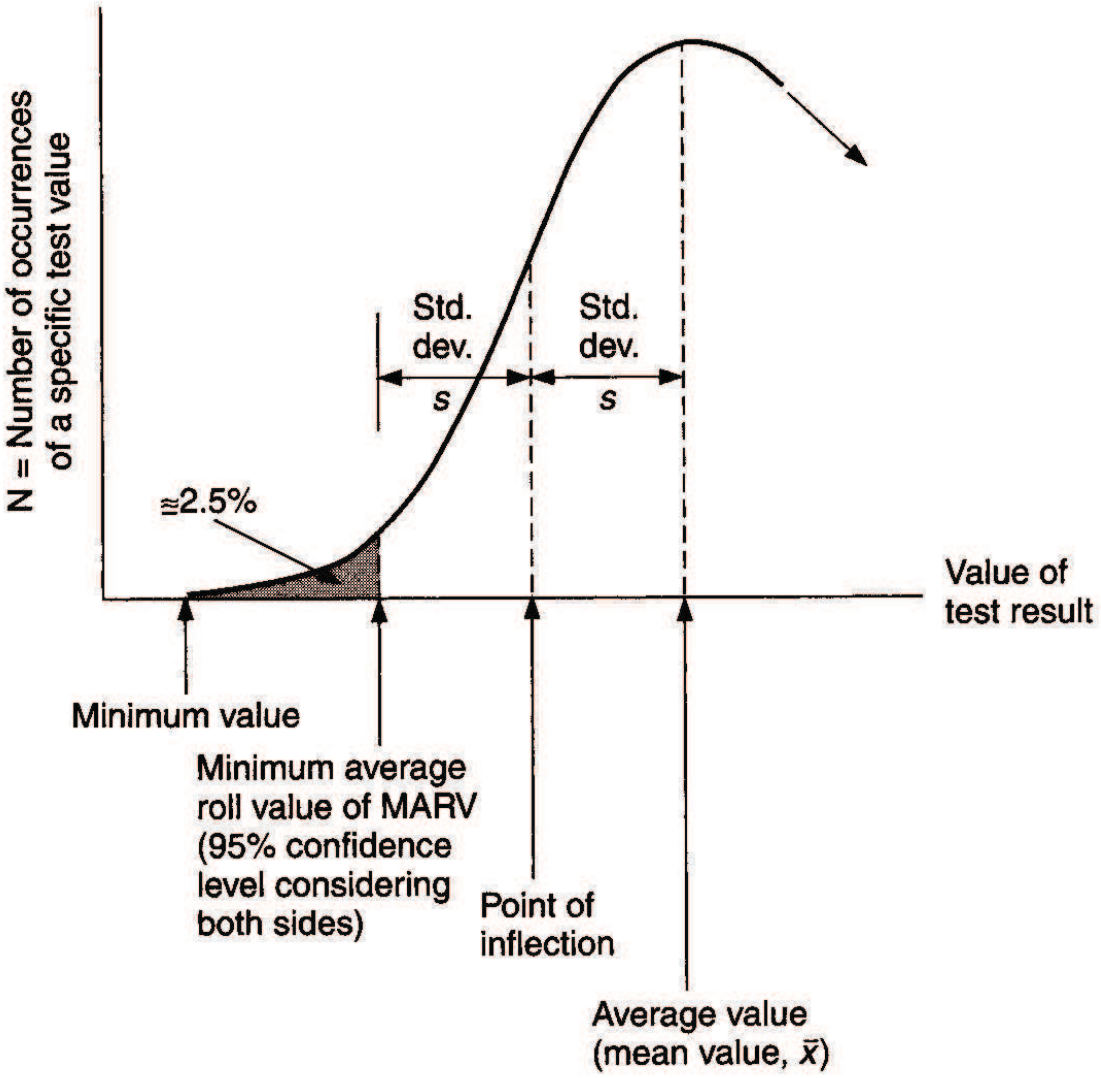
Jumlah Unit atau Gulungan dalam Satu Lot	Jumlah Unit atau Gulungan yang Dipilih
1 sampai 2	1
3 sampai 8	2
9 sampai 27	3
28 sampai 64	4
65 sampai 125	5
126 sampai 216	6
217 sampai 343	7
344 sampai 512	8
513 sampai 729	9
730 sampai 1000	10
1001 atau lebih	11

Tabel 4.4. Penentuan Jumlah Contoh Uji Lot Prosedur B dan C

Jumlah Unit atau Gulungan dalam Satu Lot	Jumlah Unit atau Gulungan yang Dipilih
1 sampai 200	1
201 sampai 500	2
501 1000	3
1001 atau lebih	4

4.7. Nilai Gulungan Rata-rata Minimum

Selama proses pembuatan geosintetik, variabilitas sifat geosintetik dapat terjadi seperti halnya bahan buatan lainnya. Variabilitas tersebut dapat digambarkan dalam bentuk kurva distribusi normal seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24: Distribusi Normal Sifat Geosintetik

Spesifikasi proyek cenderung memasukkan beberapa nilai kualifikasi seperti Minimum, Rata-rata, Maksimum dan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum atau *Minimum Average Roll Value* (MARV). Jika X1, X2, X3, ..., XN adalah nilai sifat individual dari suatu contoh berjumlah N, maka nilai-nilai kualifikasi tersebut juga standar deviasi dapat diperoleh dengan persamaan:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_N}{N} \qquad [4.2]$$

$$S = \sqrt{\frac{\left(X_1 - \bar{X}\right)^2 + \left(X_2 - \bar{X}\right)^2 + \left(X_3 - \bar{X}\right)^2_3 + .. + \left(X_N - \bar{X}\right)^2}{N-1}} \qquad [4.3]$$

Dimana:

$\bar{X}$ = rata-rata

S = standar deviasi

MARV = $\bar{X}$ - 2.*S*

Pentingnya standar deviasi berada pada variasi sifat-sifat bahan dan nilai-nilai pengujian. Saat ini, nilai kekuatan dicantumkan sebagai nilai MARV dalam arah terlemah. Untuk data yang terdistribusi normal, MARV dihitung secara statistik sebagai nilai rata-rata dikurangi dua kali standar deviasi. Spesifikasi yang didasarkan pada MARV berarti bahwa 97.5% contoh uji geosintetik dari setiap gulungan (*roll*) yang diuji harus memenuhi atau melampaui nilai yang disyaratkan. MARV sekarang sudah menjadi alat untuk uji kendali mutu dari produsen geosintetik. MARV berlaku untuk sifat-sifat fisik geosintetik seperti berat, ketebalan dan kekuatan tapi tidak berlaku untuk beberapa sifat hidrolik, degradasi atau durabilitas geosintetik. Telah diketahui bahwa penggunaan MARV menghasilkan komunikasi yang lebih baik dengan produsen, berkurangnya penolakan dan desain yang ekonomis, sehingga menyebabkan terjadinya efisiensi harga untuk semua pihak yang terlibat dalam proses.

Contoh soal untuk Sub Bab 4.6 dan 4.7:

Pada suatu proyek, ditentukan spesifikasi kuat grab dan 150 roll geotekstil akan dikirimkan ke lokasi proyek. Seorang petugas uji kendali mutu diminta untuk menentukan nilai MARV.

Jawaban:

- Sehubungan dengan uji kendali mutu, maka prosedur yang digunakan adalah prosedur A dari ASTM D 4354 (lihat Tabel 4.2).
- 150 rol geotekstil ditentukan sebagai satu lot (lihat Tabel 4.2).
- Berdasarkan ASTM D4354 maka untuk jumlah 150 rol diperlukan sekurang-kurangnya 6 rol untuk diuji (lihat Tabel 4.3).
- Dari setiap 6 rol tersebut, setugas tersebut kemudian mengambil contoh uji selebar rol geoteksil dengan panjang 1 m. Enam contoh uji tersebut kemudian dibawa ke laboratorium.
- Dari setiap contoh uji, diambil 8 benda uji dan diuji kuat grab-nya berdasarkan ASTM D 4632. Hasil ujinya adalah:

Hasil Pengujian Kuat Grab (dalam Newton)

Nomor Benda Uji	Nomor Contoh Uji					
	1	2	3	4	5	6
1	643	627	637	642	652	637
2	627	615	643	646	641	624
3	652	621	628	658	639	631
4	629	616	662	641	657	620
5	632	619	646	635	642	618
6	641	621	633	642	651	633
7	662	622	619	658	641	641
8	635	628	636	662	645	625
Rata - rata	**640**	**621**	**638**	**648**	**646**	**629**

- Dari pengujian tersebut, nilai rata-rata terkecil adalah 621 N pada contoh uji Nomor 2. Maka nilai gulungan rata-rata minimum

(MARV) adalah 621 N. Dari seluruh benda uji, terlihat ada 6 benda uji dengan kuat grab kurang dari 621 N. Hal ini melambangkan nilai statistik 2.5% dari seluruh nilai kurang dari MARV seperti diperlihatkan pada area yang diarsir hitam pada Gambar 4.24.

4.8. Soal Latihan

1. Sifat fisik geosintetik yang paling berhubungan dengan kinerja teknis (diantaranya kuat tarik, kuat robek, kuat tusuk) adalah:
   a. Ketebalan
   b. Massa per satuan luas
   c. Kuat tarik
   d. Kekakuan
2. Jenis polimer geosintetik dapat diidentifikasi dengan:
   a. Massa per satuan luas
   b. Kuat tarik
   c. Berat jenis
   d. Tahanan Rangkak
3. Ketebalan geotekstil diukur pada tegangan normal tekan sebesar:
   a. 2 kPa selama 5 detik
   b. 2 kPa selama 10 detik
   c. 20 kPa selama 5 detik
   d. 20 kPa selama 10 detik
4. Geosintetik yang mempunyai komprebilitas paling tinggi adalah:
   a. Geotekstil teranyam (*woven*)
   b. Geotekstil tak teranyam yang dilubangi dengan jarum (*needle punched non woven*)
   c. Geotekstil tak teranyam yang diikat dengan panas (*thermally bonded non woven*)

d. Geotekstil teranyam

5. Panjang *gauge* (panjang geosintetik di luar grip) untuk uji tarik pita lebar adalah:
   a. 10 mm
   b. 100 mm
   c. 200 mm
   d. 300 mm
6. Jika kuat tarik geosintetik yang tertulis dalam brosur yang ditawarkan sebesar 100/40 kN/m, maka kuat tarik dalam arah melintang mesin adalah:
   a. 100 kN/m
   b. 40 kN/m
   c. 60 kN/m
   d. 2.5 kN/m
7. Sifat manakah yang menggambarkan deformasi yang dibutuhkan untuk membangkitkan tegangan dalam geosintetik?
   a. Kuat tarik
   b. Modulus
   c. Kompresibilitas
   d. Tahanan rangkak
8. Geotekstil teranyam (*woven*) umumnya mempunyai sifat:
   a. Kuat tarik yang tinggi
   b. Modulus yang tinggi
   c. Elongasi rendah
   d. Semua sifat di atas
9. Kemampuan geosintetik menahan tegangan lokal yang diakibatkan oleh tusukan benda disebut:
   a. Kuat tarik
   b. Kuat sobek

c. Kuat jebol

d. Kuat tusuk

10. Di belakang dinding penahan tanah diberi geotekstil tak teranyam untuk mengalirkan air dari tanah di belakan dinding. Pengujian apakah yang paling dibutuhkan?

    a. Uji berat jenis geotekstil

    b. Uji permeabilitas sejajar bidang geotekstil

    c. Uji permeabilitas sejajar bidang geotekstil dan uji permeabilitas tegak lurus bidang geotekstil

    d. Uji ketebalan, uji kuat geser langsung dan uji cabut

11. Jika faktor reduksi total dari suatu geogrid adalah sebesar 3.0, berapakah kuat tarik ijin dari geogrid dengan kuat tarik ultimit sebesar 210 kN?

    a. 630 kN

    b. 70 kN

    c. 210 kN

    d. 213 kN

12. Jenis polimer geosintetik manakah yang paling tahan terhadap rangkak?

    a. Polietilena (PE)

    b. Polipropilena (PP)

    c. Poliamida (PA)

    d. Poliester (PET)

Daftar Istilah

Indonesia	Inggris
Antarmuka	Interface
Arah Mesin	Warp
Arah Melintang Mesin	Weft
Benda uji	Specimen
Berat jenis	Specific gravity
Biaksial	Biaxial
Cabut	Pullout
Contoh uji	Sample
Daya bertahan	Survivability
Dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis	Mechanically stabilized earth wall
Durabilitas	Durability
Elongasi	Elongation
Filamen	Filament
Friksi	Friction
Geosintetik	Geosynthetics
Grid	Grid
Gulungan	Roll
Jala	Mesh
Jaring	Web
Kebundaran	Angularity
Kekuatan izin	Allowable strength
Keliman	Sewn
Kompresibilitas	Compressibility
Kuat grab	Grab strength
Kuat jebol	Burst strength
Kuat penetrasi	Penetration resistance
Kuat robek	Tearing strength
Kuncian	Interlock
Lereng tanah yang diperkuat	Reinforced soil slopes
Lot	Lot
Massa per satuan luas	Mass per unit area
Modulus sekan	Secant modulus
Modulus tangen ofset	Offset tangent modulus
Nilai gulungan rata-rata minimum	Minimum Average Roll Value (MARV)
Pengikatan dengan hantaman jarum	Needle punched
Permeabilitas	Permeability
Daya tembus air	Pemittivity
Pita	Strip
Pita lebar	Wide width
Poliamida	Polyamide
Poliester	Polyester
Polietilena	Polyethylene
Polietilena berkepadatan tinggi	High Density Polyethylene
Polipropilena	Polypropylene
Potongan film	Slit film
Rangkak	Creep
Rib	Rib
Sambungan bodkin	Bodkin Joint
Serabut serat	Staple fiber
Serat	Fiber
Tahanan cabut	Pullout resistance
Tahanan tusuk	Puncture resistance
Tak-teranyam	Non woven
Teranyam	Woven
Tikar	Mat
Transmisivitas	Transmissivity
Ukuran pori-pori geotekstil	Apparent opening size (AOS)
Benang	Yarn

Daftar Pustaka

DPU. 2009. Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, No. 003/BM/2009. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. Fundamentals of Geosynthetic Engineering. Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Koerner, Robert M. 2005. Designing with Geosynthetic, 5th Edition. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

ASTM D 4751-99a, *Standard Test Method for Determining Apparent Opening Size of a Geotextile*.

ISO 12956, *Geotextiles And Geotextile-Related Products — Determination of the Characteristic Opening Size*.

SNI 08-4419-1997. *Cara Pengambilan Contoh Geotekstil Untuk Pengujian*.

ASTM D 4354 – 99. *Standard Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing.*

ASTM D 6716-00. *Test Method for Determining the (In-plane) Flow Rate per Unit Width and Hydraulic Transmissivity of a Geosynthetic Using a Constant Head*.

ISO 12958. *Determination of Water Flow Capacity in Their Plane.*

Jawaban Soal Latihan

Bab 1
1. c
2. c
3. b
4. d
5. a
6. c
7. b

Bab 2
1. b
2. b
3. c
4. a
5. d
6. c

Bab 3
1. b
2. c
3. a
4. b
5. b
6. a
7. b
8. d
9. d
10. c
11. b
12. d

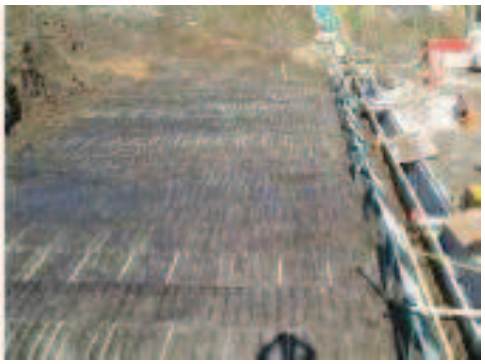
Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.

Terima kasih juga diucapkan pada Prof. Dr. Georg Heerten, German Geotechnical Society atas ijinnya untuk menggunakan gambar dan foto dari bahan ajarnya di Aachen University, Jerman dalam modul ini.

Modul Pelatihan Geosintetik

VOLUME 2. PERKUATAN TIMBUNAN DI ATAS TANAH LUNAK



Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

Kata Pengantar

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009 serta pedoman dan spesifikasi geosintetik untuk filter, separator dan stabilisator.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil filter.

Modul Volume 2 ini berisi pembahasan mengenai fungsi geosintetik sebagai perkuatan timbunan di atas tanah lunak. Di dalam modul ini dibahas prinsip dasar, fungsi dan aplikasi geosintetik dan pemilihan sifat teknis untuk analisis pada tahap berikutnya. Mekanisme keruntuhan yang terjadi pada timbunan di atas lunak dijelaskan dengan detail disertai dengan ilustrasinya. Pasal analisis dan desain memberikan prosedur desain timbunan, terutama bagaimana cara menentukan besar faktor keamanan timbunan sebelum diperkuat dan setelah diperkuat dengan geosintetik. Pasal pelaksanaan konstruksi disertai dengan pengawasan dan pemantauan instrumen memberikan gambaran umum tahapan konstruksi di lapangan dan instrumen yang dibutuhkan.

Modul volume 2 ini disertai dengan contoh soal sehingga Peserta Pelatihan dapat menentukan dapat langsung menerapkan langkah-langkah perhitungan yang disampaikan.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

Tujuan

Tujuan pelatihan ini adalah agar peserta mampu memahami tata cara perencanaan perkuatan timbunan di atas tanah lunak dengan geosintetik.

Tujuan Instruksional Umum

Peserta diharapkan mampu memahami fungsi, aplikasi, sifat-sifat teknis dan prosedur desain serta pelaksanaan geosintetik sebagai perkuatan timbunan di atas tanah lunak.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

- Memahami fungsi dan aplikasi geosintetik sebagai perkuatan timbunan.
- Memahami cara memilih sifat-sifat teknis geosintetik (geotekstil dan geogrid) dan tanah timbunan yang akan diperkuat dengan geosintetik.
- Memahami tahapan perencanaan dan dapat menghitung faktor keamanan timbunan sebelum dan setelah diperkuat dengan geosintetik.
- Mengetahui prosedur pelaksanaan konstruksi di lapangan, hal-hal yang perlu dipertimbangkan serta instrumentasi yang perlu diterapkan

Daftar Isi

1. Prinsip Dasar, Fungsi dan Aplikasi 1
1.1. Timbunan di Atas Tanah Lunak 1
1.2. Fungsi Geosintetik Sebagai Perkuatan Timbunan 2
1.3. Soal Latihan 7
2. Pemilihan Sifat Teknis 9
2.1. Kriteria Minimum Sifat-Sifat Geosintetik untuk Perkuatan Timbunan 9
2.1.1. Kuat Tarik dan Kekakuan 9
2.1.2. Penggunaan Lebih dari Satu Lapis Geosintetik 10
2.1.3. Tahanan Rangkak 10
2.1.4. Interaksi Tanah-Geosintetik 11
2.1.5. Pengaliran Air 11
2.1.6. Kekakuan Geosintetik dan Kemampuan Kerja *(Workability)* 11
2.2. Pemilihan Material Timbunan 11
2.3. Soal Latihan 12
3. Analisis dan Desain 13
3.1. Mekanisme Keruntuhan Timbunan di Atas Tanah Lunak 13
3.2. Analisis Stabilitas Timbunan 14
3.3. Prosedur Desain Timbunan 15
3.3.1. Geometri dan Dimensi Timbunan 16
3.3.2. Beban di Atas Timbunan 16

3.3.3. Sifat Teknis Tanah Dasar (Tanah Fondasi) 17
3.3.4. Sifat Teknis Tanah Timbunan 18
3.3.5. Sifat Teknis Geosintetik untuk Perkuatan 18
3.4. Cek Keruntuhan Stabilitas Lereng Global 18
3.4.1. Kasus apabila lapisan tebal tanah lunak jauh lebih besar daripada lebar timbunan 19
3.4.2. Kasus apabila lapisan tanah lunak tidak terlalu tebal 21
3.5. Cek Stabilitas terhadap Geser Rotasional 22
3.6. Cek Stabilitas terhadap Pergerakan Lateral (Gelincir) 25
3.7. Contoh Perhitungan Stabilitas Lateral 27
3.8. Cek Penurunan Timbunan 28
3.9. Cek Keruntuhan Global Timbunan 30
3.10. Cek Keruntuhan Cabut *(Pullout)* 30
3.11. Contoh Perhitungan Stabilitas Global dan Rotasional 31
3.12. Soal Latihan 36
4. Pelaksanaan dan Pemantauan Konstruksi 38
4.1. Prosedur Pelaksanaan Konstruksi 38
4.2. Pinsip Dasar Pengawasan Lapangan 42
4.3. Pelaksanaan Pemantauan Konstruksi 43
4.3.1. Tahapan Pemantauan Konstruksi 43
4.3.2. Metode Pemantauan Konstruksi dan Alat yang Digunakan 44
4.4. Pemantauan Konstruksi Timbunan 46

Daftar Gambar

Gambar 1-1: Timbunan di atas tanah dasar lunak (a) dengan *basal drainage layer*; (b) dengan pita drain vertikal dan *basal drainage layer*.....2
Gambar 1-2 Kontribusi Geosintetik untuk Timbunan Di Atas Tanah Lunak.....3
Gambar 1-3 Keuntungan Geosintetik Selama Konstruksi: (a) pemisah, dan (b) pengurangan keruntuhan lokal selama konstruksi.....4
Gambar 1-4 Tanah fondasi yang diperkuat dan menahan footing struktur.....6
Gambar 3-1 Mekanismen keruntuhan timbunan di atas tanah lunak.....14
Gambar 3-2 Tahap Desain.....15
Gambar 3-3 Contoh Sketsa Geometri Timbunan dan Simbol Dimensinya.....16
Gambar 3-4 Keruntuhan stabilitas lereng global (Shukla, Fundamental).....19
Gambar 3-5 Analisis geser blok lateral.....26
Gambar 3-6 Penurunan timbunan akibat penyebaran lateral tanah dasar.....29
Gambar 4-1 Pemasangan geosintetik.....39
Gambar 4-2 Arah geosintetik untuk timbunan yang linier (satu garis lurus).....40
Gambar 4-3 Timbunan dengan sisi lereng yang diselubungi geosintetik *(wraparound)*.....41

Gambar 4-4 Tahapan Konstruksi untuk Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil di Atas Tanah yang Sangat Lunak..... 42

Daftar Tabel

Tabel 5-1: Metode dan Alat Monitoring Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geosintetik 44
Tabel 5-2: Deskripsi Pekerjaan Monitoring.....45

1 Prinsip Dasar, Fungsi dan Aplikasi

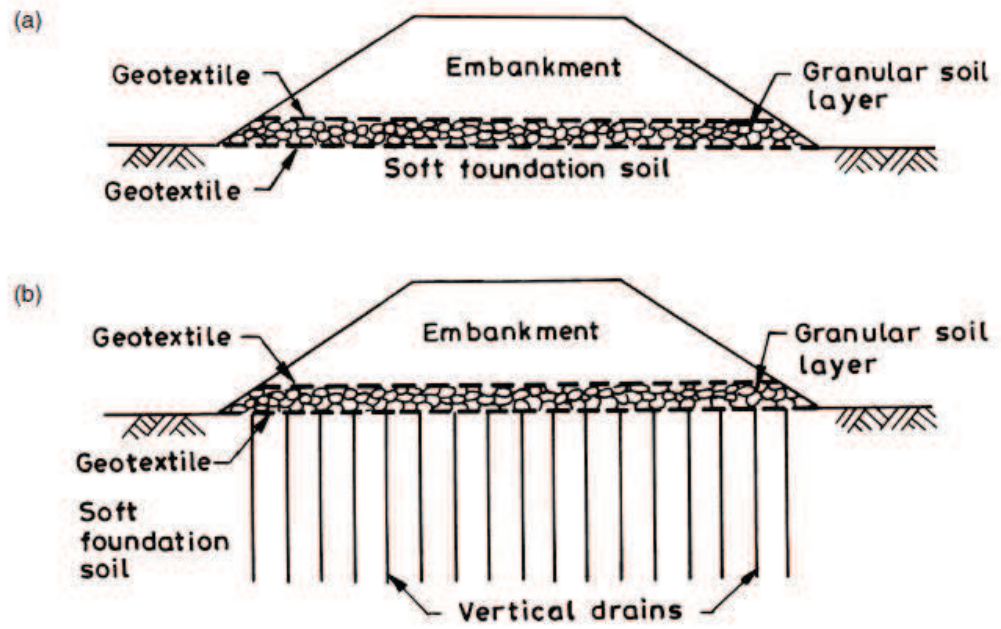
Geosintetik dapat menjadi pilihan yang tepat untuk pekerjaan timbunan di atas tanah dasar yang lunak. Pada dasarnya, lapisan-lapisan geosintetik akan berfungsi sebagai material perkuatan atau dapat mempercepat proses konsolidasi lapisan tanah lunak.

1.1. Timbunan di Atas Tanah Lunak

Tanah lunak yang dimaksud di dalam Modul ini adalah tanah yang didefinisikan sebagai tanah lempung dan gambut dengan nilai kuat geser kurang dari 25 kN/m^2 (Panduan Geoteknik 1, DPU 2002). Pada metode-metode konvensional, tanah lunak diganti dengan tanah yang lebih baik atau diperbaiki, misalnya dengan metode prapembebanan *(preloading),* konsolidasi dinamis dan stabilisasi dengan kapur atau semen sebelum penimbunan. Opsi lainnya adalah dengan konstruksi penimbunan bertahap dengan sand drains, penggunaan berm pratibobot dan fondasi tiang. Namun demikian, opsi-opsi tersebut pengerjaannya lama, mahal, bahkan keduanya.

Alternatif penanganan yang lain adalah penggunaan lapisan geosintetik (geotekstil, geogrid atau geokomposit) di atas tanah dasar lunak dan membangun timbunan langsung di atasnya. Dalam hal ini akan dibutuhkan lebih dari satu lapis geosintetik, apabila tanah dasarnya memiliki zona lemah atau rongga akibat lubang amblasan *(sinkholes),* aliran sungai tua, atau kantung lanau, lempung ataupun gambut (Lihat Gambar 1-1).

Untuk kondisi tersebut, lapisan geosintetik seringkali disebut sebagai lapisan perkuatan dasar *(basal geosynthetics layer)* (lihat Gambar 1-1a). Pada beberapa kasus, solusi yang paling efektif dan ekonomis kemungkinan adalah kombinasi dari metode perbaikan tanah konvensional dan/atau alternatif konstruksi lainnya bersamaan dengan penggunaan geosintetik (lihat Gambar 1-1b)



Gambar 1-1: Timbunan di atas tanah dasar lunak (a) dengan *basal drainage layer*; (b) dengan pita drain vertikal dan *basal drainage layer*

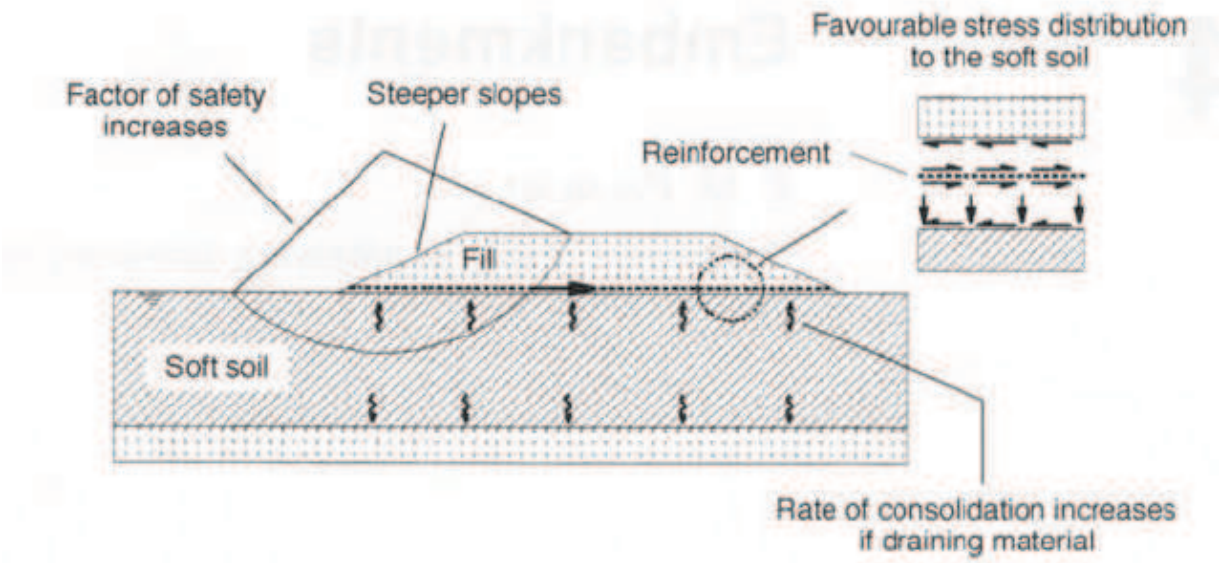
1.2. Fungsi Geosintetik Sebagai Perkuatan Timbunan

Geosintetik dapat menjadi alternatif penanganan yang sangat menarik untuk pekerjaan yang meliputi penimbunan di atas tanah lunak. Pada dasarnya, lapisan-lapisan geosintetik berperan sebagai material yang memperkuat atau mempercepat proses konsolidasi tanah lunak. Fungsi yang pertama selalu ditujukan untuk meningkatkan faktor keamanan timbunan secara temporer (sementara). Caranya adalah dengan mempercepat waktu konstruksi atau mempertegak kemiringan lereng

timbunan dimana kedua opsi tersebut tidak mungkin dilakukan tanpa menggunakan perkuatan.

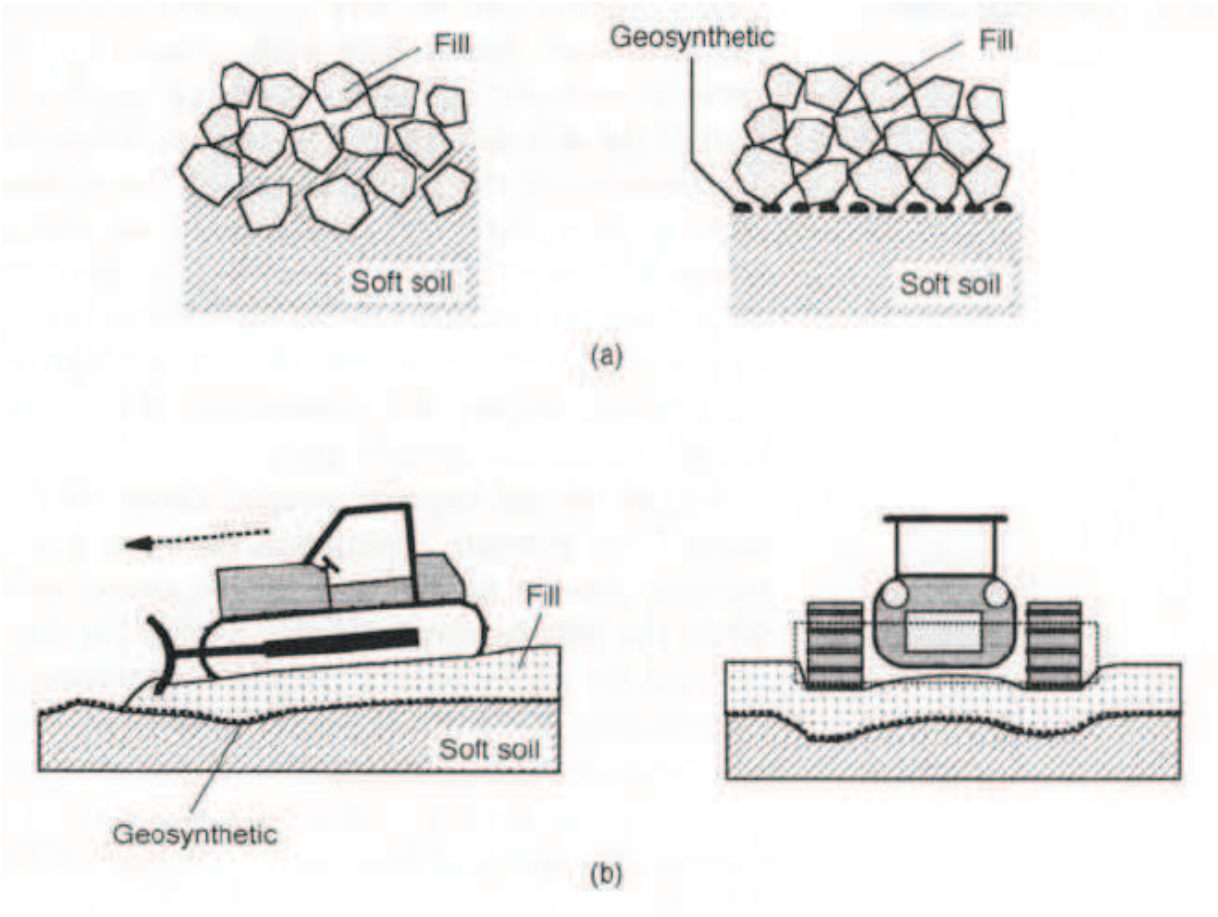
Fungsi yang kedua selain dihubungan dengan kebutuhan untuk memperoleh timbunan yang semakin stabil konstruksi bertahap *(staged construction)* juga untuk mempercepat penurunan konsolidasi.

Kelebihan lain perkuatan timbunan adalah dapat berfungsi sebagai pemisah *(separation)* antara material timbunan dengan kualitas baik dan tanah dasar berbutit halus, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1-2. Kondisi ini diperoleh apabila perkuatan berfungsi juga sebagai filter untuk tanah dasar, dalam hal ini adalah geotekstil tak teranyam *(non woven geotextiles)*.



Gambar 1-2: Kontribusi Geosintetik untuk Timbunan Di Atas Tanah Lunak

Adanya geosintetik juga mengurangi penggunaan material timbunan, karena mengurangi atau menghindari keruntuhan lokal akibat peralatan konstruksi selama tahap pengangkutan, penebaran dan pemadatan material timbunan (Gambar 1-3).



Gambar 1-3: Fungsi Geosintetik Selama Konstruksi: (a) pemisah, dan (b) pengurangan keruntuhan lokal selama konstruksi

Penggunaan geosintetik sebagai lapisan dasar perkuatan juga dapat menghasilkan angka perbandingan tebal tanah dasar dan timbunan yang kurang dari 0,7. Meskipun demikian, pada tanah dasar yang tebal kontribusi geosintetik sebagai perkuatan tidak begitu signifikan.

Geosintetik yang digunakan sebagai perkuatan terdiri dari geotekstil teranyam *(woven geotextiles)* dan /atau geogrid. Faktor-faktor penting yang perlu dipertimbangkan pada saat memilih geosintetik sebagai perkuatan dasar, adalah:

- Kuat tarik dan kekakuan
- Karakteristik ikatan antara tanah dan geosintetik

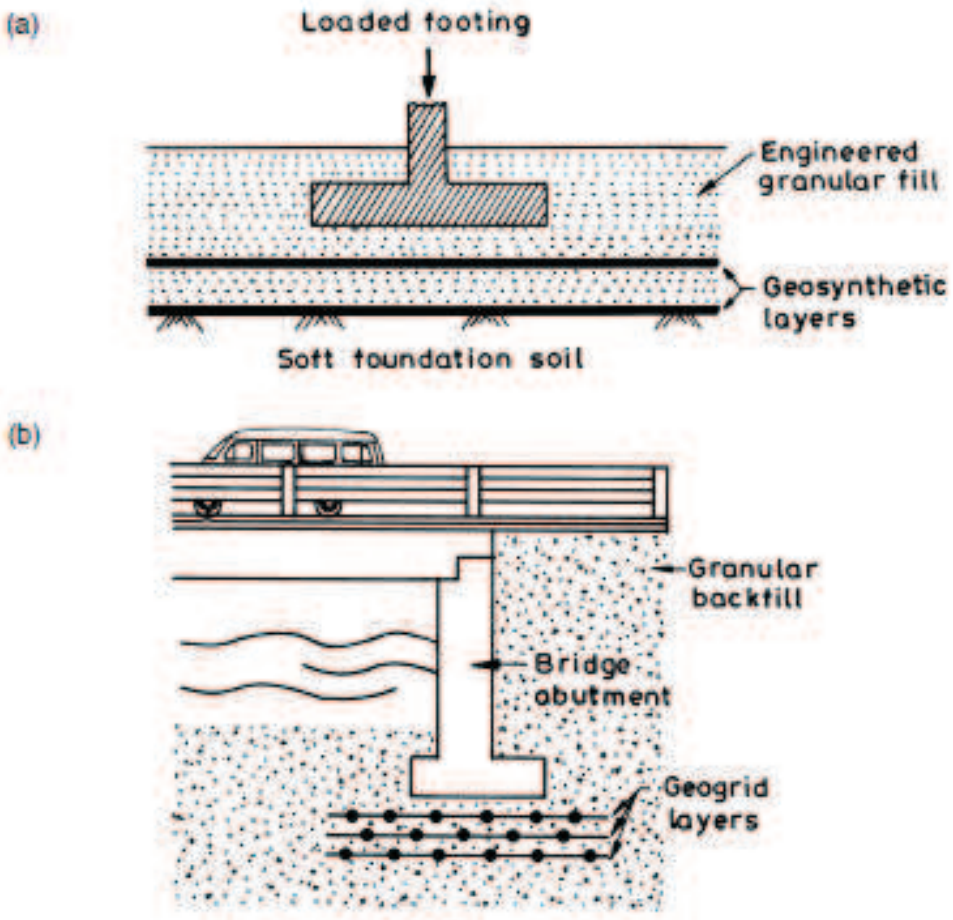
- Karakteristik rangkak
- Ketahanan geosintetik terhadap kerusakan mekanik
- Durabilitas

Pada sebagian besar kasus, perkuatan geosintetik hanya dibutuhkan berada di bawah timbunan selaman konstruksi berlangsung dan selama beberapa waktu setelahnya. Hal ini dikarenakan konsolidasi tanah lunak menghasilkan peningkatan data dukung tanah fondasi pada waktu tertentu.

Saat perkuatan dasar dipasang di bawah timbunan permanen, regangannya menjadi cukup konstan sewaktu sebagian besar penurunan telah terjadi. Pada kondisi demikian, dimungkinkan terjadi kehilangan tegangan tarik geosintetik terhadap waktu (Gambar 1-4). fenomena berkurangnya tegangan, pada regangan konstan, terhadap waktu disebut pelepasan tegangan *(stress relaxation)* yang hampir sama dengan rangkak.

Untungnya, selama periode tersebut tanah di bawahnya terkonsolidasi dan kekuatannya meningkat. Dengan demikian tanah dasar memiliki ketahanan yang lebih besar untuk mencegah keruntuhan selama waktu berlalu. Faktor keamanan hendaknya tidak berubah lagi apabila kecepatan berkurangnya tegangan geosintetik lebih besar daripada kecepatan kenaikan tegangan pada tanah dasar.

Apabila konsolidasi tanah dasar harus dipercepat untuk memenuhi kenaikan tegangan yang konsisten, geotekstil tak teranyam yang direkomendasikan.



Gambar 1-4: Tanah fondasi yang diperkuat dan menahan footing struktur

Jika kriteria penurunan membutuhkan geosintetik berkekuatan tinggi dan modulus tinggi, geokomposit dapat berfungsi sebagai drainase. Perlu diketahui bahwa pada beberapa lokasi tanah lunak, terutama yang tidak ditumbuhi vegetasi, penghamparan lapisan geogrid akan membutuhkan lapisan geotekstil tak teranyam dan ringan sebagai pemisah/filter. Ini dimaksudkan untuk mencegah tercampurnya material dari lapisan pertama, terutama jika materialnya tanah bergradasi terbuka *(open-graded soil).*

Lapisan geotekstil tidak dibutuhkan apabila lapisan pasir dipasang sebagai lapisan pertama, sehingga memenuhi kriteria filtrasi.

1.3. Soal Latihan

1. Geotekstil tak teranyam pada dasar timbunan di atas tanah lunak
   (a) Bekerja terutama sebagai lapisan perkuatan
   (b) Bekerja terutama sebagai pemisah *(separator)*
   (c) Menyebabkan kompaksi tanah
   (d) Mempercepat konsolidasi dan penambahan kekuatan yang menerus
2. Penggunaan geosintetik sebagai lapisan perkuatan dasar pada umumnya cukup menguntungkan, jika perbandingan antara tebal tanah fondasi dan lebar dasar timbunannya
   (a) Kurang dari 0,7
   (b) Lebih dari 0,7
   (c) Sangat tinggi
   (d) Tidak ada jawaban yang benar
3. Apa yang dimaksud dengan lapisan perkuatan dasar *(basal reinforcement)* ?
4. Sebutkan faktor - faktor penting yang perlu dipertimbangkan pada saat memilih geosintetik sebagai perkuatan dasar !

2 Pemilihan Sifat Teknis

Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan oleh peserta pelatihan dalam pemilihan material adalah karakteristik timbuman, konsekuensi dari keruntuhan timbunan, kriteria deformasi, persyaratan serviceability, dan ketersediaan geosintetik.

2.1. Kriteria Minimum Sifat-Sifat Geosintetik untuk Perkuatan Timbunan

2.1.1. Kuat Tarik dan Kekakuan

Diantara beberapa alternatif pengujian yang tersedia, uji tarik lebar yang mengacu kepada ASTM D 4595 atau RSNI M-05-2005 dapat digunakan untuk menghitung kekuatan di dalam tanah yang merupakan standar pengujian untuk kuat tarik dan modulus tarik.

Kriteria minimum kuat tarik adalah sebagai berikut:

1. Kuat tarik rencana Td adalah nilai terbesar dari Tg dan Tls dengan modulus sekan yang dibutuhkan berada pada regangan 2% sampai dengan 5%. Tg adalah gaya perkuatan yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional, sedangkan Tls kekuatan untuk mencegah penyebaran lateral. Tg harus dinaikkan untuk memperhitungkan kerusakan saat pemasangan dan durabilitas. Tls harus dinaikkan untuk memperhitungkan rangkak, kerusakan saat pemasangan dan durabilitas.
2. Kuat tarik puncak Tult harus lebih besar dari kuat tarik rencana Td;

3. Regangan perkuatan pada saat terjadi keruntuhan sekurang-kurangnya 1,5 kali regangan modulus sekan guna mencegah keruntuhan getas *(brittle failure).* Untuk pondasi yang sangat lunak dimana perkuatan akan mendapatkan tegangan tarik yang sangat besar saat konstruksi, geosintetik harus mempunyai kekuatan yang cukup untuk mendukung timbunan itu sendiri, atau perkuatan dan timbunan harus diijinkan untuk berdeformasi. Untuk kasus kedua, elongasi saat putus sampai 50% dapat diterima. Pada kedua kasus tersebut, diperlukan geosintetik dengan kekuatan tinggi dan prosedur konstruksi khusus.
4. Jika terdapat kemungkinan terjadinya retak tarik pada timbunan atau munculnya tingkat regangan yang tinggi selama konstruksi (contohnya pada timbunan tanah kohesif), maka dibutuhkan kekuatan terhadap penyebaran lateral Tls pada kondisi regangan sebesar 2%.
5. Persyaratan kekuatan geosintetik harus dievaluasi dan ditentukan untuk arah mesin dan arah melintang mesin. Biasanya kekuatan jahitan menentukan persyaratan kekuatan geosintetik dalam arah melintang mesin.

2.1.2. Penggunaan Lebih dari Satu Lapis Geosintetik

Jika digunakan lebih dari satu lapis perkuatan, maka suatu lapisan berbutir (granular) setebal 200 mm - 300 mm harus ditempatkan di antara setiap lapisan geosintetik tersebut atau lapis-lapis perkuatan tersebut harus digabungkan secara mekanis (contohnya dijahit). Geosintetik yang digunakan harus sejenis untuk seluruh lapisan.

2.1.3. Tahanan Rangkak

Nilai tegangan batas yang digunakan adalah 40-60% dari tegangan yang bekerja. Sebaiknya dipertimbangkan pula kombinasi beban hidup

terhadap beban mati. Aplikasi beban hidup jangka pendek hanya memberikan sedikit pengaruh terhadap rangkak dibandingkan dengan aplikasi beban mati jangka panjang

2.1.4. Interaksi Tanah-Geosintetik

Uji geser langsung atau uji cabut *(pull-out)* digunakan untuk menentukan besarnya gesekan antara tanah dan geosintetik, ϕ_{sg}. Jika hasil pengujian tidak tersedia, maka nilai yang disarankan untuk timbunan pasir adalah 2/3ϕ sampai dengan ϕ pasir (ϕ adalah sudut geser tanah). Untuk tanah lempung, pengujian ini harus dilakukan pada situasi apapun.

2.1.5. Pengaliran Air

Geosintetik harus dapat menjamin terjadinya pengaliran air vertikal dari tanah pondasi secara bebas untuk mengurangi peningkatan tekanan pori di bawah timbunan. Disarankan permeabilitas geosintetik sekurang-kurangnya 10 kali lipat dari permeabilitas tanah di bawahnya.

2.1.6. Kekakuan Geosintetik dan Kemampuan Kerja *(Workability)*

Apabila tidak ada informasi lainnya tentang kekakuan, direkomendasikan untuk menggunakan pengujian menurut ASTM D 1388, Option A dengan menggunakan benda uji 50 mm x 300 mm. Nilai yang diperoleh harus dibandingkan dengan kinerja lapangan aktual untuk menetapkan kriteria perencanaan. Aspek-aspek lapangan lainnya seperti absorpsi air dan berat isi juga harus dipertimbangkan khususnya pada lokasi dengan tanah dasar yang sangat lunak.

2.2. Pemilihan Material Timbunan

Penghamparan timbunan beberapa lapis pertama di atas geosintetik sebaiknya merupakan bahan berbutir yang lolos air. Penggunaan material dengan jenis ini akan memungkinkan terjadinya interaksi gesekan terbaik antara material timbunan dan geosintetik. Bahan ini

juga berfungsi sebagai lapisan drainase yang dapat mendisipasi air pori berlebih dari tanah di bawahnya.

Bahan timbunan lain dapat digunakan di atas lapisan ini selama dilakukan evaluasi kompatibilitas regangan geosintetik dengan material timbunan seperti dibahas di dalam Modul Volume I. Bahan berbutir (granular) lapis pertama di atas geosintetik tersebut dapat mempunyai ketebalan 0,5 m sampai dengan 1,0 m, sedangkan sisanya dapat menggunakan material lokal yang memenuhi syarat timbunan.

2.3. Soal Latihan

1. Manakah di antara sifat teknis berikut yang bukan merupakan kriteria minimum sifat geosintetik untuk perkuatan timbunan?

   (a) Kuat tarik

   (b) Kekakuan

   (c) Tahanan Rangkak

   (d) Tahanan geser

2. Jika hasil pengujian tidak tersedia, maka nilai yang disarankan untuk timbunan pasir adalah:

   (a) $2/3\phi - \phi$

   (b) $\phi - 1{,}5\phi$

   (c) $0{,}5\phi - 2{,}5\phi$

   (d) $2\phi - 3\phi$

3. Sebutkan satu contoh kasus dibutuhkannya geosintetik dengan kekuatan tinggi !

3 Analisis dan Desain

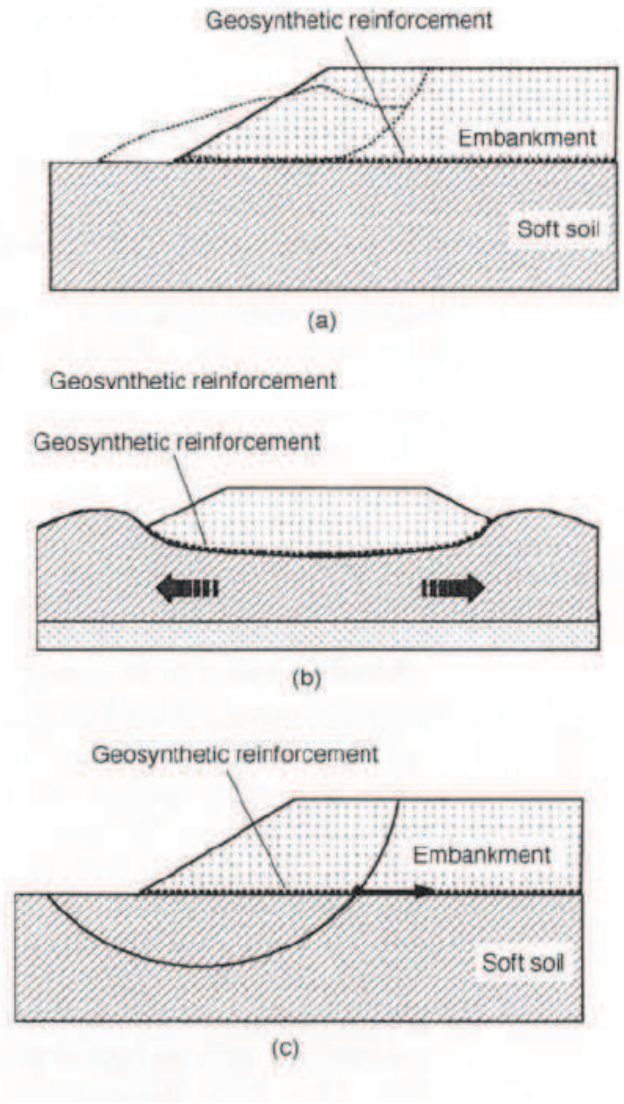
Landasan pendekatan desain timbunan di atas tanah lunak dengan menggunakan geosintetik sebagai perkuatan dasar (basal renforcement) adalah untuk mencegah keruntuhan. Moda (mekanisme) keruntuhan yang terjadi memberikan indikasi jenis analisis stabilitas yang dibutuhkan.

3.1. Mekanisme Keruntuhan Timbunan di Atas Tanah Lunak

Gambar 3-1 berikut memperlihatkan mekanisme keruntuhan yang dapat terjadi pada timbunan yang dibangun di atas tanah lunak. Gambar 3-1a menunjukkan kemungkinan keruntuhan di dalam timbunan, yang terjadi pada timbunan dengan kemiringan yang sangat tegak di atas tanah dasar keras. Mekanisme demikian harus dianalisis dengan menggunakan analisis stabilitas namun bukan merupakan kondisi terkritis tanah lunak.

Gambar 3-1b menunjukkan mekanisme penyebaran tanah lunak secara lateral. Mekanisme tersebut dapat muncul pada timbunan dengan perkuatan yang rapat di atas tanah fondasi yang tipis.

Gambar 3-1c menunjukkan kondisi yang paling umum terjadi, dimana mekanisme keruntuhan ditandai dengan bidang keruntuhan memotong timbunan, geosintetik dan tanah lunak. Mekanisme tersebut meliputi keruntuhan tarik geosintetik atau keruntuhan *bond* akibat tidak mencukupinya pengangkeran geosintetik dengan bidang keruntuhan.



Gambar 3-1: Mekanismen keruntuhan timbunan di atas tanah lunak

3.2. Analisis Stabilitas Timbunan

Stabilitas timbunan di atas tanah lunak lazimnya dihitung dengan menggunakan metode analisis tegangan total. Analisis ini cukup konservatif karena pada analisis ini diasumsikan tidak terjadi peningkatan kekuatan pada tanah dasar.

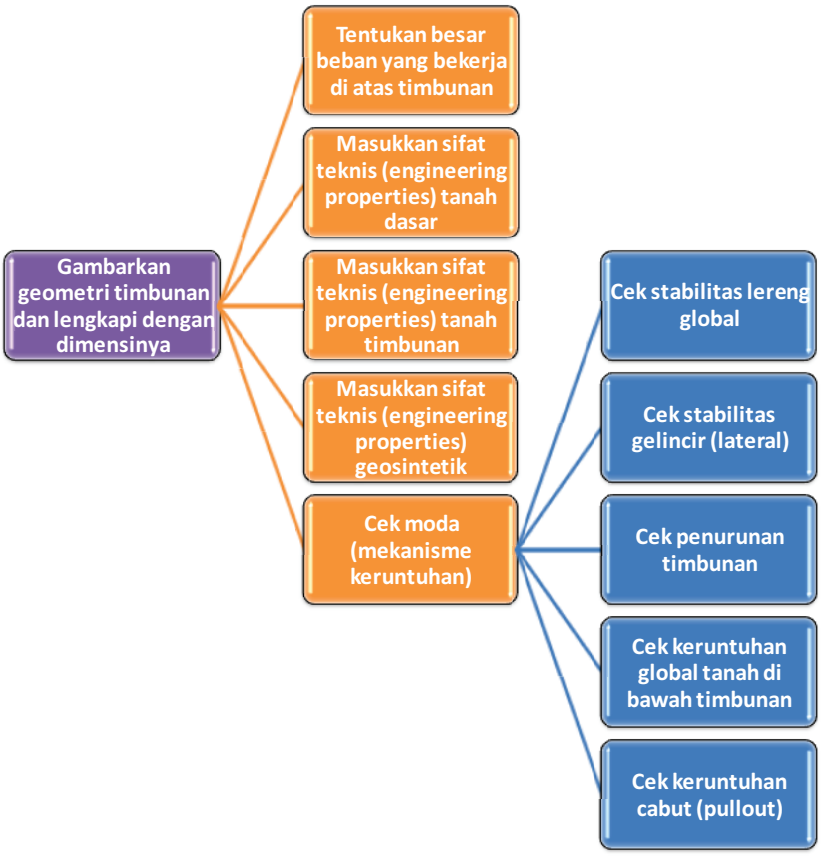
Metode analisis tegangan efektif dengan menggunakan parameter efektif juga dapat dilakukan, akan tetapi dibutuhkan estimasi tekanan

air pori lapangan yang akurat. Selain itu dibutuhkan pula pengujian triaksial terkonsolidasi-tak terdrainase (CU) untuk mendapatkan parameter efektif untuk analisis.

Karena estimasi tekanan air pori lapangan tidak mudah dilakukan, maka selama konstruksi harus dipasang pisometer untuk menghitung kecepatan penimbunan. Dengan demikian prosedur perencanaan yang digunakan di dalam modul ini menggunakan analisis tegangan total, karena dianggap lebih sesuai dan lebih sederhana untuk perencanaan perkuatan timbunan.

3.3. Prosedur Desain Timbunan

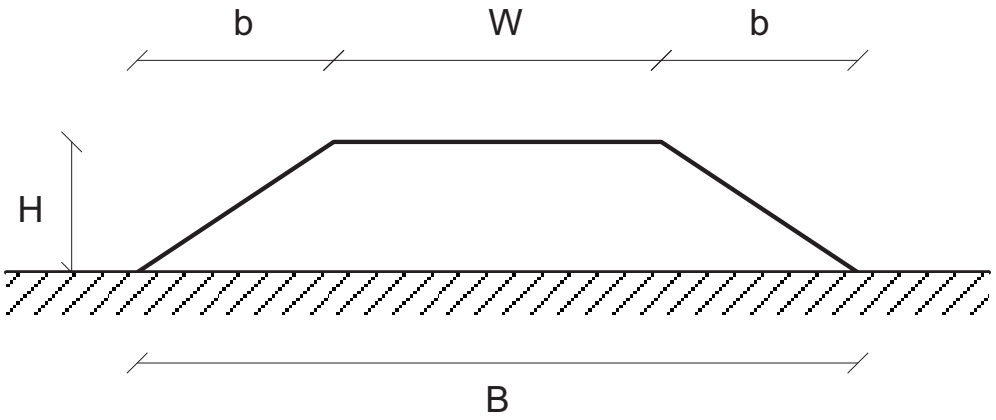
Tahap-tahap desain timbunan yang diperkuat dengan geosintetik ditunjukkan pada Gambar 3-2 masing-masing tahap dijelaskan pada sub-sub pasal berikutnya.



Gambar 3-2: Tahap Desain

3.3.1. Geometri dan Dimensi Timbunan

Sebelum memulai analisis stabilitas, peserta diharapkan membuat sketsa geometri timbunan, lengkap dengan dimensi timbunannya yaitu tinggi (H), panjang (L), lebar bawah (B), lebar atas/puncak timbunan (W) dan kemiringan lereng (b/H). Untuk lebih jelasnya dapat merujuk kepada contoh pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3: Contoh Sketsa Geometri Timbunan dan Simbol Dimensinya

3.3.2. Beban di Atas Timbunan

Untuk analisis stabilitas, Panduan Geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B (DPU, 2002b) memberikan panduan dalam menentukan beban lalu lintas berdasarkan kelas jalan seperti diperlihatkan pada Tabel 3.1. Beban lalu lintas tersebut dimodelkan sebagai beban merata yang harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan.

Beberapa hal di bawah ini perlu diperhatikan ketika akan menentukan beban di dalam analisis:

- Untuk tanah lempung, beban lalu lintas tidak perlu dimasukkan dalam analisis penurunan.

- Untuk gambut berserat, pembebanan pada Tabel 3.1 harus ditambahkan, dan diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan.
- Untuk kasus tanah dasar yang sangat lunak (c_u antara 1-5 kPa), timbunan rendah kurang dari 1m serta untuk jalan akses maka tidak diperlukan beban lalu lintas dalam analisis stabilitas.

Tabel 3.1: Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m2)
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Kolektor	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

Sumber: Panduan Geoteknik 4 No Pt T-10-2002-B (DPU, 2002b)

3.3.3. Sifat Teknis Tanah Dasar (Tanah Fondasi)

Berdasarkan penyelidikan tanah pondasi tentukan:

- Stratigrafi dan profil tanah pondasi
- Lokasi muka air tanah (kedalaman, fluktuasi);

Sifat teknik tanah pondasi (tanah dasar) adalah sebagai berikut:

- Kuat geser tak terdrainase (*undrained*) c_u untuk kondisi jangka pendek (akhir konstruksi);
- Parameter kuat geser terdrainase (*drained*), c' dan ϕ', untuk kondisi jangka panjang;

- Parameter konsolidasi (C_c, C_r, c_v, σ_p');
- Faktor kimia dan biologis yang dapat merusak perkuatan seperti daerah tambang, pembuangan limbah dan daerah industri.

Variasi sifat tanah terhadap kedalaman dan sebaran daerah

3.3.4. Sifat Teknis Tanah Timbunan

Sifat teknis tanah timbunan yang dibutuhkan untuk parameter perencanaan adalah:

A. Klasifikasi tanah;

B. Hubungan kadar air-kepadatan;

C. Kuat geser tanah timbunan (ϕ');

D. Faktor kimia dan biologis yang dapat merusak perkuatan.

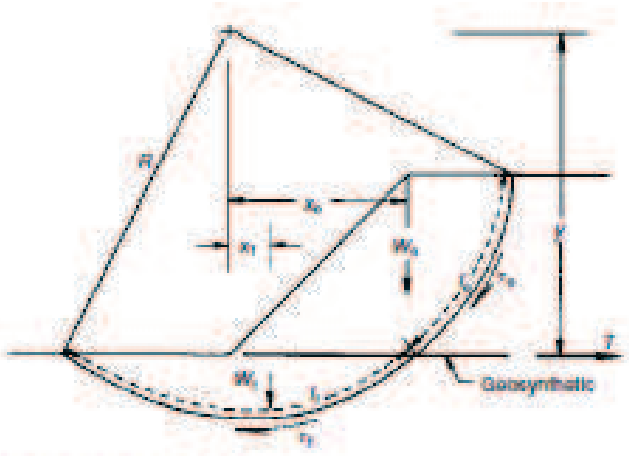
3.3.5. Sifat Teknis Geosintetik untuk Perkuatan

Merujuk ke Pasal 2.

3.4. Cek Keruntuhan Stabilitas Lereng Global

Mekanisme keruntuhan stabilitas global dipertimbangkan sebagai mode keruntuhan paling umum yang ditandai dengan bidang keruntuhan yang memotong timbunan, lapisan geosintetik dan tanah dasar lunak (lihat Gambar 3-4).

Mekanisme keruntuhan ini meliputi keruntuhan tarik lapisan geosintetik atau keruntuhan ikatan *(bond)* akibat kurang kuatnya ikatan *(anchorage)* geosintetik di dalam bidang runtuh.



Gambar 3-4: Keruntuhan Stabilitas Lereng Global

Faktor keamanan minimum yang direkomendasikan untuk keruntuhan daya dukung global adalah 1,5. Terdapat dua opsi cek keruntuhan daya dukung global yang dijelaskan sebagai berikut.

3.4.1. Kasus apabila lapisan tebal tanah lunak jauh lebih besar daripada lebar timbunan

Langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Hitung kapasitas daya dukung ultimit

$$q_{ult} = c_u N_c \quad \text{.....[3-1]}$$

dengan pengertian :

q_{ult}	adalah kapasitas daya dukung ultimit	(kN/m^2)
c_u	adalah kuat geser tak terdrainase/*undrained*	(kN/m^2)
N_c	adalah faktor daya dukung = $5.14 + 0.5\frac{B}{D}$	
B	adalah lebar dasar timbunan	(m)
D	adalah ketebalan rata-rata tanah lunak	(m)

2. Hitung beban maksimum pada kondisi tanpa geosintetik:

$$P_{max} = \gamma_m H + q \quad \text{.....[3-2]}$$

dengan pengertian :

P_{max} adalah beban maksimum (kN/m^2)

γ_m adalah berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

H adalah tinggi timbunan (m)

q adalah beban merata (kN/m^2)

3. Hitung faktor keamanan daya dukung (tanpa perkuatan geotekstil)[1]:

$$FK_U = \frac{q_{ult}}{P_{max}} \quad \text{.....[3-3]}$$

dengan pengertian :

FK_U adalah faktor keamanan daya dukung tanpa perkuatan

4. Hitung beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik[2]:

$$P_{avg} = \frac{A_g \gamma_m + q.W}{B} \quad \text{.....[3-4]}$$

dengan pengertian :

P_{avg} adalah beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik (kN/m^2)

A_g adalah luas penampang melintang timbunan (m^2)

q adalah beban merata (kN/m^2)

---

[1] Apabila faktor keamanan telah memenuhi syarat, maka tidak diperlukan perkuatan geosintetik

[2] Dengan adanya geosintetik, diasumsikan akan terjadi distribusi beban yang merata pada seluruh lebar geosintetik

W adalah lebar atas/puncak timbunan (m)

B adalah lebar dasar timbunan (m)

5. Hitung faktor keamanan daya dukung, FK_R, (dengan perkuatan geotekstil):

$$FK_R = \frac{q_{ult}}{P_{avg}} \quad \text{.....[3-5]}$$

3.4.2. Kasus apabila lapisan tanah lunak tidak terlalu tebal

Untuk kasusuini lakukan analisis peremasan (*squeezing*). Jika tebal lapisan tanah lunak (D_s) di bawah timbunan kurang dari panjang lereng b, maka faktor keamanan terhadap keruntuhan akibat peremasan dihitung dengan persamaan berikut:

$$FK_{Peremasan} = \frac{2\,c_u}{\gamma_m D_s \tan\beta} + \frac{4{,}14\,c_u}{H\gamma_m} \geq 1{,}3 \quad \text{.....[3-6]}$$

dengan pengertian :

c_u adalah kuat geser tak terdrainase/*undrained* (kN/m^2)

γ_m adalah berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

D_s adalah tebal tanah lunak di bawah timbunan (m)

β adalah sudut kemiringan lereng (derajat)

H adalah tinggi timbunan (m)

Jika faktor keamanan daya dukung telah memenuhi syarat, maka lanjutkan pada langkah berikutnya. Jika tidak, pertimbangkan untuk memperlebar timbunan, melandaikan lereng, menambah berm, melakukan konstruksi bertahap, memasang drainase vertikal, atau

alternatif lain seperti relokasi alinyemen jalan atau menggunakan struktur jalan layang.

3.5. Cek Stabilitas terhadap Geser Rotasional

Lakukan analisis bidang keruntuhan rotasional pada timbunan yang tidak diperkuat untuk menentukan bidang keruntuhan kritis dan faktor keamanan (Gambar 3-5):

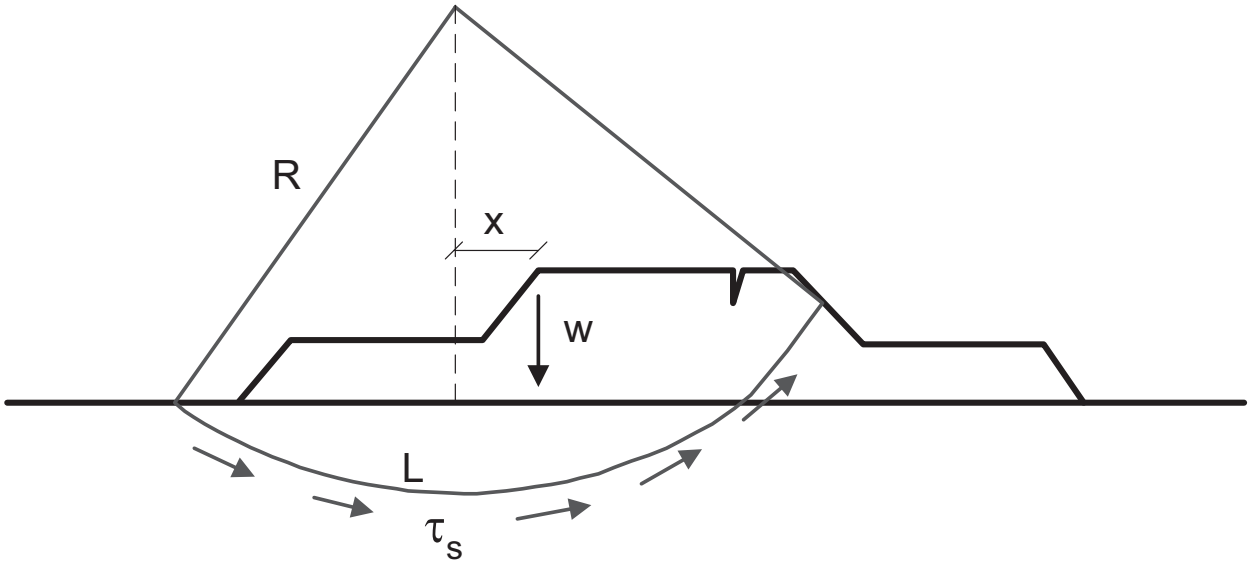
$$FK_U = \frac{M_R}{M_D} \quad \text{..... [3-7]}$$

dengan pengertian :

FK_U adalah faktor keamanan geser rotasional tanpa perkuatan

M_D adalah momen pendorong (kN.m) = w. x

M_R adalah momen penahan (kN.m) = $(\Sigma\tau_\sigma.L).R$



(Sumber: Holtz dkk, 1998)

Gambar 3-5: Analisis Stabilitas Geser Rotasional Tanpa Perkuatan Geosintetik

Apabila faktor keamanan pada timbunan yang tidak diperkuat lebih besar daripada nilai minimum yang disyaratkan, maka tidak dibutuhkan perkuatan. Lanjutkan ke langkah berikutnya;

Apabila faktor keamanan lebih kecil daripada nilai minimum yang dibutuhkan, maka hitung kekuatan geosintetik yang dibutuhkan (T_g) untuk memperoleh faktor keamanan yang ditargetkan (lihat Gambar 3-6):

$$T_g = \frac{FK_R.M_D - M_R}{R.\cos(\theta - \beta)} \quad \text{.....[3-8]}$$

dengan pengertian :

T_g adalah kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN)

FK_R adalah faktor keamanan terhadap geser rotasional yang ditargetkan

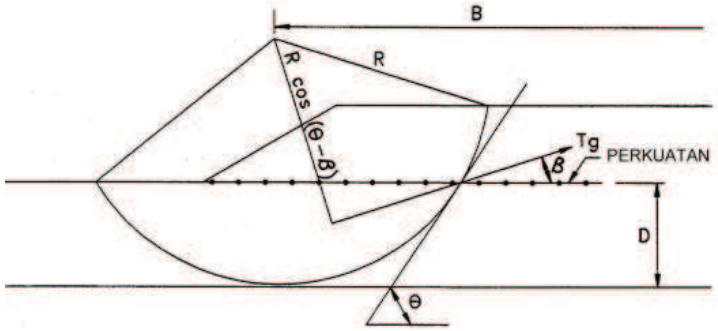
M_D adalah momen pendorong (kN.m)

M_R adalah momen penahan (kN.m)

R adalah jari-jari lingkaran (m)

θ adalah sudut antara garis tangen busur lingkaran dan garis horizontal (^{o})

β adalah sudut orientasi perkuatan geosintetik T_g dengan garis horizontal (^{o})



- Momen penahan dari perkuatan geosintetik: $M_r = T_g\,[R\cos(\theta - \beta)]$, dengan $\phi \le \beta \le \theta$
- Faktor keamanan dengan perkuatan: $FK_R = \dfrac{M_R + M_r}{M_D} = \dfrac{M_R + T_g.R.\cos(\theta - \beta)}{M_D}$
- Kekuatan geosintetik yang dibutuhkan: $T_g = \dfrac{FK_R.M_D - M_R}{R.\cos(\theta - \beta)}$

(Sumber: Holtz dkk, 1998)

Gambar 3-6: Kekuatan Geosintetik yang Dibutuhkan untuk Stabilitas Rotasional

Untuk menentukan nilai β, nilai perkiraan di bawah ini dapat dipertimbangkan:

$\beta = 0$ untuk tanah pondasi yang getas dan sensitif (contohnya lempung marina yang terlindikan) atau jika suatu lapisan kerak permukaan (*crust*) akan dipertimbangkan dalam analisis untuk meningkatkan daya dukung

$\beta = \theta/2$ untuk D/B < 0.4 dan tanah dengan kompresibilitas sedang hingga tinggi (contohnya lempung lunak dan gambut)

$\beta = \theta$ untuk D/B ≥ 0.4 dengan tanah yang sangat kompresibel (contohnya lempung lunak dan gambut); dan perkuatan dengan regangan potensial ($\varepsilon_{rencana}$ ≥ 10%) serta jika deformasi yang besar dapat diijinkan.

$\beta = 0$ jika terdapat keraguan !

Kekuatan geosintetik yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (T_g) harus dinaikkan untuk memperhitungkan kerusakan saat pemasangan dan durabilitas:

$T_{g,ult} = T_g . RF_{ID}$.....[3-9]

dengan pengertian:

$T_{g,ult}$ adalah kekuatan geosintetik ultimit yang dibutuhkan untuk stabilitas geser rotasional (kN)

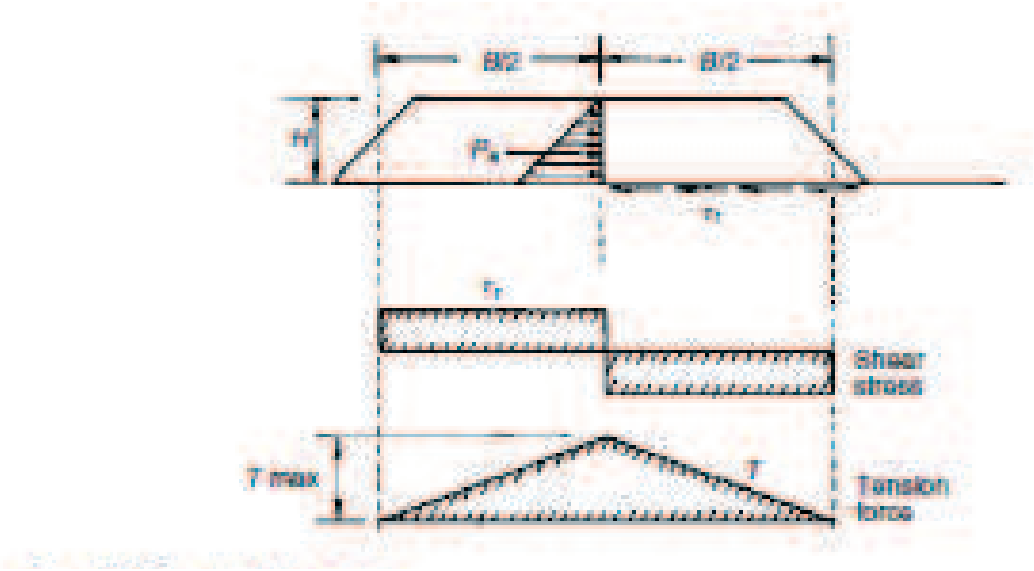
RF_{ID} adalah faktor reduksi kerusakan saat instalasi; Nilainya bervariasi antara 1,05 sampai dengan 3,0, tergantung pada gradasi material timbunan dan berat geosintetik per berat isi. Nilai minimum biasanya diambil 1,1;

RF_D adalah faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme, senyawa kimia, oksidasi panas dan retak tegangan (*stress cracking*). Nilainya bervariasi antara 1,1 sampai dengan 2,0. Faktor reduksi minimum adalah 1,1.

3.6. Cek Stabilitas terhadap Pergerakan Lateral (Gelincir)

Terdapatnya retak tarik *(tension crack)* di dalam timbunan meninggalkan satu blok tanah yang dapat menggelincir (Gambar 3-7). Tekanan tanah horizontal bekerja di dalam timbunan menjadi penyeban utama geser lateral. Bahkan tekanan yanah horizontal mengakibatkan tegangan geser di dasar timbunan, yang harus ditahan oleh tanah

dasarnya. Apabila tanah dasar tidak memiliki tahanan geser yang cukup, keruntuhan dapat terjadi.



Gambar 3-7: Analisis Geser Blok Lateral

Untuk kasus pada Gambar 3-7, resultan tekanan tanah aktif (P_a) dan gaya tarik maksimum perkuatan (T_{max}) dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a \quad \text{.....[3-10]}$$

$$T_{max} = \frac{\tau_r B}{2} = \frac{(\gamma H tan\phi_r)B}{2} \quad \text{.....[3-11]}$$

dimana:

γ adalah berat isi material timbunan

H adalah tinggi timbunan

B adalah lebar timbunan

K_a adalah koefisien tekanan tanah aktif

τ_r adalah kuat geser yang menahan *(resisting shear stress)*

ϕ_r adalah sudut tahanan geser interaksi tanah-geosintetik

Apabila pergerakan lateral tidak terjadi, gunakan persamaan di bawah ini:

$$\frac{T_{max}}{P_a} \geq 1 \quad \text{[3-12]}$$

Atau

$$\tan\phi_r \geq \frac{HK_a}{B} \quad \text{[3-13]}$$

Faktor keamanan minimum terhadap geser lateral adalah 1,5, dengan mempertimbangkan kekuatan dan batasan regabgan geosintetik hingga 10%. Dengan demikian kekuatan geosintetik (T_{req}) dan Modulus geosintetik (E_{req}) yang dibutuhkan adalah:

$$T_{req} = 1{,}5T_{max} \quad \text{[3-14]}$$

$$E_{req} = \frac{T_{max}}{\epsilon_{max}} = 10T_{max} \quad \text{[3-15]}$$

Mekanisme pergerakan lateral menjadi amat penting untuk lereng timbunan yang curam di atas tanah dasar yang keras (kuat) serta permukaan geosintetik yang sangat halus. Untuk itu, pergerakan lateral tidak menjadi hal yang kritis pada timbunan di atas tanah lunak.

3.7. Contoh Perhitungan Stabilitas Lateral

Suatu timbunan dengan tinggi 4 m dan lebar 10 m dibangun di atas tanah lunak dengan menggunakan lapisan perkuatan dasar. Hitung kekuatan geotekstil dan modulus geotekstil yang dibutuhkan untuk mencegah terjadinya pergeseran blok di atas geotekstil.

Asumsikan bahwa material timbunan memiliki berat isi (γ) sebesar 18 kN/m^3 dan sudut geser sebesar 35°, serta bahwa sudut geser interaksi tanah-geotekstil adalah 2/3 sudut geser timbunan.

Penyelesaian:

$$T_{max} = \frac{(\gamma H tan\phi_r)B}{2} = \frac{18\times4\times\left[tan\left(\frac{2}{3\times35^\circ}\right)\right]x10}{2} = 155{,}29\ kN/m$$

Dari persamaan [3-11],

$T_{req} = 1{,}5T_{max} = 1{,}5 \times 155{,}29$=232,94 kN/m (jawaban)

Dari persamaan [3-12],

$E_{req} = 10T_{max} = 10 \times 155{,}29$= 1552,9 kN/m (jawaban)

3.8. Cek Penurunan Timbunan

Penurunan timbunan terjadi akibat konsolidasi tanah dasar (Gambar 3-8). Penurunan dapat pula terjadi akibat tersebarnya tanah dasar secara lateral. Mekanisme ini timbul pada timbunan yang dipasangi banyak perkuatan dan berdiri di atas lapisan tipis tanah dasar. Faktor keamanan terhadap penyebaran tanah , F_e, dapat diperkirakan melalui persamaan berikut.

$$F_e = \frac{P_p+R_B+R_T}{P_A} \quad \text{.....[3-16]}$$

dimana:

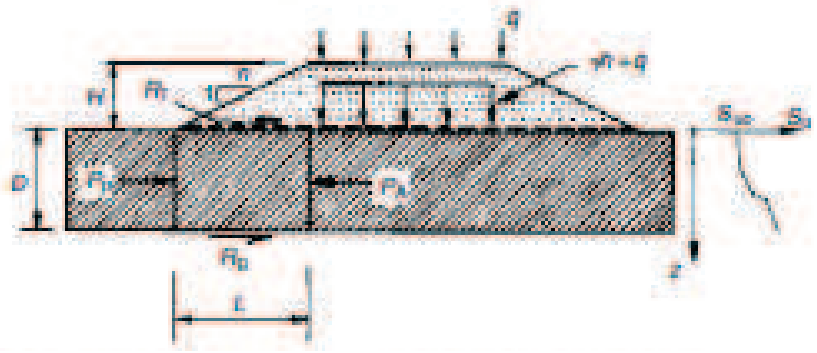
P_p adalah gaya pasif terhadap pergerakan blok tanah

R_T adalah gaya di bagian atas blok tanah

R_B adalah gaya di bagian bawah blok tanah

P_A adalah gaya aktif di atas blok tanah.

Gaya aktif dan gaya pasif dapat dievaluasi dengan menggunakan teori tekanan tanah, sedangkan gaya-gaya di atas dan bawah blok tanah dapat dihitung sebagai fungsi dari kuat geser undrained (S_u) di bawah tanah dasar serta keterikatan *(adherence)* antara lapisan perkuatan dengan permukaan tanah dasar.



Gambar 3-8: Penurunan Timbunan Akibat Penyebaran Lateral Tanah Dasar

Geosintetik dapat mengurangi penurunan diferensial timbunan, namun sedikit mereduksi penurunan total final karena kompresibilitas tanah dasar tidak diubah oleh geosintetik. Penurunan timbunan dapat mengakibatkan memanjangnya geosintetik. Meskipun demikian regangan total geosintetik dibatasi hingga 10% untuk mengurangi penurunan di dalam timbunan sehingga modulus geosintetik yang dipilih haruslah sebesar 10 T_{req} dimana T_{req} diperoleh berdasarkan perhitungan stabilitas glonal.

Supaya fungsinya dapat maksimal, geosintetik harus dilipat ujung-ujungnya, sama seperti sistem selubung atau *wraparound* dalam dinding penahan tanah. Jika memungkinkan, berikan tekanan awal pada geosintetik di lapangan, yaitu pada ujung-ujungnya, sehingga di kemudian hari dapat mengurangi penurunan diferensial maupun penurunan total.

3.9. Cek Keruntuhan Global Timbunan

Kapasitas daya dukung tanah dasar di bawah timbunan pada dasarnya tidak dipengaruhi oleh adanya lapisan geosintetik di dalam maupun di bawah timbunan (Gambar 3-1). Dengan demikian tanah dasar tidak dapat menahan berat timbunan sehingga timbunan tidak dapat dibangun. Kapasitas daya dukung global hanya dapat ditingkatkan dengan pembuatan matras seperti permukaan yang diperkuat atau pelebaran dasar timbunan.

Keruntuhan daya dukung global umumnya dianalisis dengan menggunakan metode analisis daya dukung tanah yang sudah umum dan dapat merujuk kepada literatur-literatur mekanika tanah. Akan tetapi analisis ini tidak sesuai dilakukan jika tanah dasar lunaknya dibatasi kedalamannya, sehingga kedalamannya lebih kecil dibandingkan dengan lebar timbunan. Untuk kasus tersebut, gunakan analisis pergerakan lateral *(lateral squeeze analysis)*.

Keruntuhan daya dukung global dapat membantu untuk mengetahui tinggi timbunan dan sudut kemiringan timbunan yang bisa digunakan di atas tanah dasar. Konstruksi timbunan yang lebih tinggi daripada yang sudah diestimasikan akan membutuhkan konstruksi bertahap sehingga tanah di bawahnya memiliki waktu untuk konsolidasi dan meningkatkan kuat gesernya.

3.10. Cek Keruntuhan Cabut *(Pullout)*

Gaya-gaya yang ditansfer ke lapisan geosintetik untuk menahan keruntuhan rotasional. Kapasitas cabut geosintetik merupakan fungsi dari panjang pembenaman *(embedment length)* di belakang zona gelincirnya. Panjang pembenaman minimum (L_e) dihitung dengan persamaan berikut:

$$L_e = \frac{T_a}{2(c_a+\sigma_v tan\phi_r)} \quad \text{.....[3-17]}$$

dimana:

T_a adalah gaya yang termobilisasi di dalam geosintetik per satuan panjang

c_a adalah adhesi tanah terhadap geosintetik

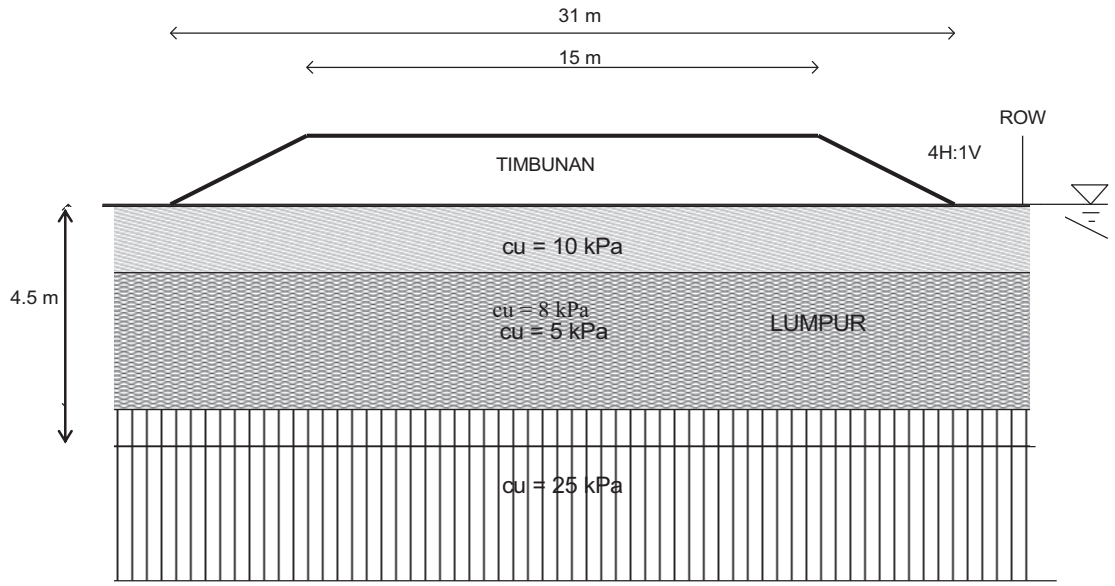
σ_v adalah tegangan vertikal rata-rata

ϕ_r adalah sudut geser lapis antar muka tanah-geosintetik

Apabila digunakan geosintetik berkekuatan tinggi, maka panjang pembenaman yang dibutuhkan akan sangat besar. Meskipun demikian, pada areal konstruksi yang terbatas, panjang ini dapat dikurangi dengan melipat ujung-ujung geosintetik sama seperti sistem selubung pada dinding penahan tanah.

3.11. Contoh Perhitungan Stabilitas Global dan Rotasional

Konstruksi jalan akan dibangun di atas tanah lunak dengan menggunakan geotekstil sebagai perkuatan timbunan. Rencana tinggi timbunan adalah 2,0 m yang diantisipasi dapat mengakibatkan penurunan alinyemen jalan. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar B1 di bawah ini.



Gambar 3-9 Geometri timbunan

Data Tanah:

a. Dari penyelidikan tanah diperoleh nilai cu= 8 kPa untuk daerah tanah lunak.

b. Di bawah tanah lunak terdapat lapisan yang lebih keras dengan nilai cu = 25 kPa

Material timbunan adalah pasir dan kerikil

Soal:

a. Hitung faktor keamanan lereng dari hasil analisis stabilitas, sebelum diperkuat dengan geosintetik dan setelah diperkuat dengan geosintetik.

b. Rencanakan perkuatan timbunan dengan geotekstil.

Penyelesaian:

1. Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dilakukan dengan menggunakan piranti lunak XSTABL sebagai alat bantu. Kondisi timbunan yang paling kritis adalah pada akhir masa konstruksi,

dengan demikian digunakan kuat geser terkonsolidasi-terdrainase (*consolidated-drained*) di dalam analisis.

Hasil analisis adalah sebagai berikut:

Kemiringan lereng 1V : 4H, dengan menggunakan material timbunan pasir atau kerikil yang memiliki berat isi timbunan γ_m= 21,7 kN/m^3, maka diperoleh faktor keamanan adalah FK = 0,78.

2. Analisis perkuatan timbunan dengan geotekstil

   Tentukan terlebih dahulu fungsi geotekstil dan parameter yang dibutuhkan

a) Fungsi geotekstil:
   1) Primer: sebagai perkuatan untuk kondisi jangka pendek
   2) Sekunder: sebagai pemisah dan filtrasi

b) Parameter geotekstil yang dibutuhkan:
   1) Karakteristik tarik
   2) Kuat geser lapisan antarmuka *(interface)*
   3) Ketahanan
   4) Ukuran bukaan

Rencanakan timbunan dengan perkuatan geotekstil untuk memenuhi persyaratan stabilitas jangka pendek.

Langkah 1 Tentukan dimensi dan kondisi pembebanan dengan memperhatikan geometri timbunan pada Gambar 3-9.

Langkah 2 Kondisi tanah bawah permukaan dan parameter tanah

Lakukan perencanaan untuk kondisi akhir konstruksi dengan menggunakan parameter kuat geser tanah tak terdrainase *(undrained).*

Langkah 3 Parameter material timbunan

Untuk material pasir dan batu (sirtu) :

Berat isi γ_m = 21,7 kN/m^3 dan sudut geser dalam ϕ' = 35°

Langkah 4 Penuhi persyaratan perencanaan

a) Ketentuan faktor kemanan yang harus dicapai adalah:

1) Fk minimum $\geq$ 1.5 untuk kondisi jangka panjang

2) Fk yang diizinkan $\geq$ 1.3 untuk kondisi jangka pendek

b) Kriteria penurunan

1) Konsolidasi primer harus selesai sebelum konstruksi perkerasan jalan

2) Timbunan dengan tinggi total 2,0 m ditujukan untuk mencapai elevasi perencanaan. Ketinggian ini sudah mencakup tebal material timbunan tambahan untuk mengimbangi penurunan.

Langkah 5 Periksa kapasitas daya dukung global

Dengan mempertimbangkan ketebalan lapisan tanah maka pergeseran akan terjadi di saat keruntuhan daya dukung global. Kapasitas daya dukung global dihitung dengan persamaan Meyerhoff.

N_c = 5.14 + 0.5 B/D

dengan pengertian:

B adalah lebar dasar timbunan = 31,0 m

D adalah kedalaman rata-rata tanah lunak = 4,5 m

N_c =5.14 + 0.5 (31 / 4.5) = 7,6

q_{ult} = 8 kPa x 7,6. = 60,8 kPa

<u>Beban maksimum (beban timbunan + beban lalu lintas)</u>

Beban lalu lintas q = 12 kPa

a) Kondisi **tanpa** geotekstil:

$P_{max} = \gamma_m . H + q$

P_{max} = 21,7 kN/m^3 x 2 m + 12 = 55,4 kPa

$FK_u = q_{ult} / P_{max} = 60,8 / 55,4 = 1,09 < 1,5$ (tidak memenuhi)

b) Kondisi **dengan** geotekstil:
Dengan asumsi bahwa distribusi beban timbunan di atas geotekstil akan seragam dengan pertimbangan kemiringan di kaki timbunan. Beban tanah timbunan adalah:

$$P_{avg} = \frac{A_g \gamma_m + q.W}{B}$$

dengan pengertian:

P_{avg} adalah beban maksimum pada kondisi dengan geosintetik (kN/m^2)

A_g adalah luas penampang melintang timbunan (m^2)

q adalah beban merata (kN/m^2)

W adalah Lebar atas/puncak timbunan (m)

B adalah lebar dasar timbunan (m)

A_g = 1/2 (31 m + 15 m) x 2 m = 46 m^2

$$P_{avg} = \frac{46*21,7+12*15}{31} = 38kPa$$

FK_R = 60,8 / 38 = 1,6 >1,5 (memenuhi)

Langkah 6 Lakukan analisis stabilitas geser rotasional

Faktor keamanan minimum yang disyaratkan pada akhir konstruksi adalah 1,3. Bidang keruntuhan terkritis untuk timbunan yang tidak diperkuat diperoleh melalui metode stabilitas rotasional. Untuk contoh kasus ini, dapat digunakan perangkat lunak seperti XSTABL. Faktor keamanan minimum hasil analisis adalah FK = 0.78.

Karena tanah di bawah timbunan adalah gambut kompresibilitas tinggi, maka perkuatan diasumsikan berputar menjadi sudut $\beta = \theta$, sehingga faktor keamanan yang dibutuhkan:

$$FK = \frac{M_R + T_g R}{M_D} \geq 1.3$$

$$T_g = \frac{1.3M_D - M_R}{R}$$

$T_g \approx 246$ kN

Apabila geotekstil yang dipasang memiliki kekuatan minimum sebesar 246 kN, maka persyaratan kekuatan terpenuhi apalagi jika dipasang beberapa lapis geotekstil. Untuk contoh kasus ini, faktor kerusakan akibat instalasi adalah 1 dan digunakan 2 lapis perkuatan sebagai berikut:

Kekuatan geotekstil bagian bawah = 90 kN

Kekuatan geotekstil bagian atas = 180 kN

Penggunaan 2 lapis perkuatan ini memungkinkan perkuatan di bagian bawah yang harganya lebih murah digunakan di sepanjang timbunan dan berm timbunan. Sedangkan perkuatan di bagian atas yang lebih mahal dan lebih besar kekuatannya hanya dipasang di bagian timbunan yang membutuhkan.

3.12. Soal Latihan

1. Mana dari mekanisme berikut yang bukan merupakanm mekanisme keruntuhan timbunan di atas tanah lunak?

   (a) Keruntuhan stabilitas lereng global

   (b) Pergerakan lateral

   (c) Penurunan

   (d) Keruntuhan daya dukung global

2. Beberapa hal yang perlu diperhatikan ketika akan menentukan beban di dalam analisis, kecuali:

   (a) Pada tanah lempung, beban lalu lintas tidak perlu diperhitungkan dalam analisis penurunan

   (b) Pada gambut berserat, pembebanan harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan

   (c) Pada tanah dasar sangat lunak dan timbunan dengan tinggi > 1 m tidak diperlukan beban lalu lintas dalam analisis stabilitas.

   (d) Pada pembuatan jalan akses tidak diperlukan beban lalu lintas dalam analisis stabilitas.

3. Manakah di antara parameter berikut yang semuanya merupakan parameter konsolidasi tanah dasar untuk analisis ?

   (a) c_u, c', ϕ', Cc

   (b) C_c, C_r, c_v, σ_p'

   (c) c', ϕ', Cc, γ

   (d) c', ϕ', Cr, q_c

4. Manakah di antara pernyataan berikut yang **benar** ?

   (a) Geosintetik dapat mengurangi penurunan total timbunan, namun sedikit mereduksi penurunan diferensial

   (b) Geosintetik dapat mengurangi penurunan diferensial timbunan, namun sedikit mereduksi penurunan total final INI

   (c) Geosintetik tidak dapat mengurangi penurunan diferensial timbunan, namun sedikit mereduksi penurunan total final

   (d) Geosintetik tidak dapat mengurangi penurunan diferensial dan penurunan total final

4 Pelaksanaan dan Pemantauan Konstruksi

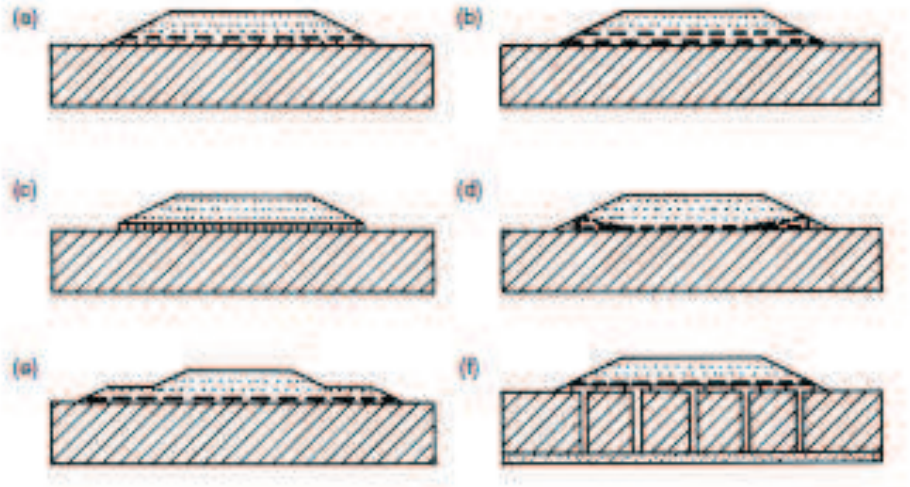
Konstruksi timbunan dengan perkuatan dasar di atas tanah sangat lunak perlu memperhatikan tahapan-tahapan konstruksi untuk menghindari kemungkinan terjadinya keruntuhan (kerusakan geosintetik, penurunan tak seragam, keruntuhan timbunan, dll.) selama konstruksi berlangsung.

4.1. Prosedur Pelaksanaan Konstruksi

Berikut ini dijelaskan prosedur pelaksanaan secara umum yang dapat membantu pelaksanaan konstruksi di lapangan:

1. Lapisan geosintetik dipasang di atas tanah dasar, umumnya dengan sedikit gangguan dari material eksisting. Vegetasi penutup seperti rumput dan ilalang harus dibuang pada saat penyiapan tanah dasar. Ada beberapa alternatif berkaitan dengan pemasangan geosintetik di dalam timbunan, yaitu:
   a. Satu lapis geosintetik di dalam timbunan (Gambar 4-1a);
   b. Beberapa lapis geosintetik di sepanjang tinggi timbunan (Gambar 4-1b);
   c. Geosel di dasar timbunan (Gambar 4-1c);
   d. Satu lapis geosintetik di dasar timbunan dengan ujung yang dilipat (Gambar 4-1d);
   e. Kombinasi geosintetik dengan berm (Gambar 4-1e);

f. Satu atau banyak lapis geosintetik dengan tiang vertikal (Gambar 4-1f).



Gambar 4-1: Pemasangan Geosintetik

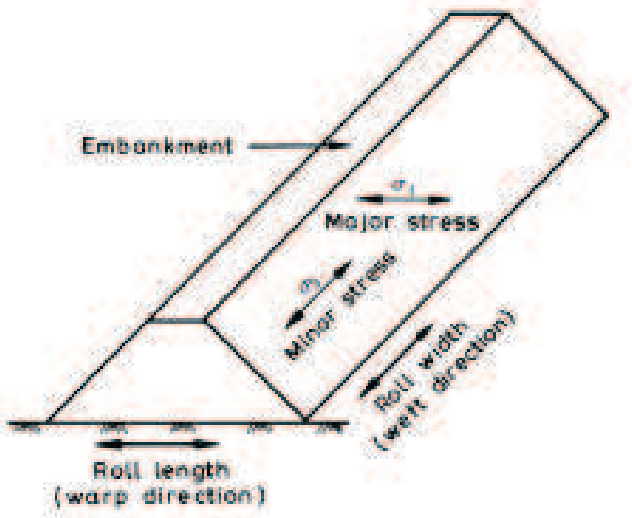
Masing-masing alternatif di atas memiliki kelebihan. Satu lapis geosintetik pada Gambar 4-1a memberikan panjang pengakuran perkuatan yang lebih baik dibandingkan dengan geosintetik di sepanjang lapis antar muka antara tanah timbunan dan tanah dasar. Khusus untuk geogrid adalah akibat efek kunciannya.

Jika ingin berfungsi lebih dari satu, maka gunakan beberapa lapis geosintetik dengan jensi berbeda seperti pada Gambar 4-1b karena kombinasi tersebut akan cenderung mengurangi penurunan diferensial. Efek ini juga bisa diperoleh dengan menggunakan geosel yang diisi dengan material timbunan seperti pada Gambar 4-1c. Jika ingin menambah pengakuran geosintetik, maka gunakan sistem lipatan ujung seperti pada Gambar 4-1d atau berm pada Gambar 4-1e. Jika penurunan timbunan ingin dibatasi, maka pasang tiang-tiang vertikal seperti pada Gambar 4-1f.

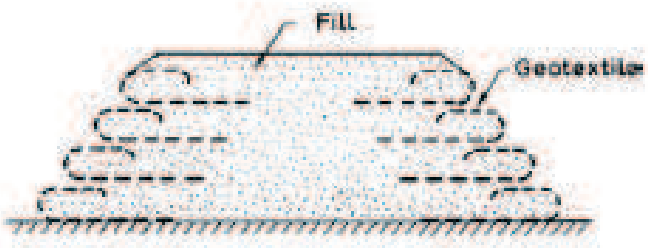
2. Lapisan geosintetik biasanya dipasang dengan arah gulungan tegak lurus dengan as timbunan (Gambar 4-2). Gulungan harus dibuka

dengan hati-hati melintang ke as timbunan. Usahakan jangan menyeret gulungan geosintetik. Geosintetik tambahan dengan arah gulungan diorientasikan sejajar dengan as juga dapat dibutuhkan pada ujung timbunan. Lapisan geosintetik harus direntangkan untuk menghilangkan kerutan atau lipatan. Untuk menghindari terangkatnya geosintetik oleh angin dapat diatasi dengan menaruh beban di atasnya (kantung pasir, batuan, dll.)

3. Penyambungan harus dihindari tegak lurus dengan arah mesin dimana umumnya adalah di sepanjang lebar timbunan (Gambar 4-2). Untuk timbunan dan timbunan tambahan *(surcharge)* arah mesin ini tidak dapat ditentukan sehingga penyambungan harus dilakukan melalui penjahitan.



Gambar 4-2: Arah Geosintetik untuk Timbunan yang Linier (Satu Garis Lurus)



Gambar 4-3: Timbunan dengan Sisi Lereng yang Diselubungi Geosintetik *(Wraparound)*

4. Pita (*strip)* geosintetik horisontal tipis dapat dipasang pada sisi lereng dengan selubung *(wraparound)* untuk meningkatkan pemadatan di ujung-ujungnya (Gambar 4-3). Pita geosintetik di ujung juga bisa membantu mengurangi erosi dan membantu tumbuhnya vegetasi.

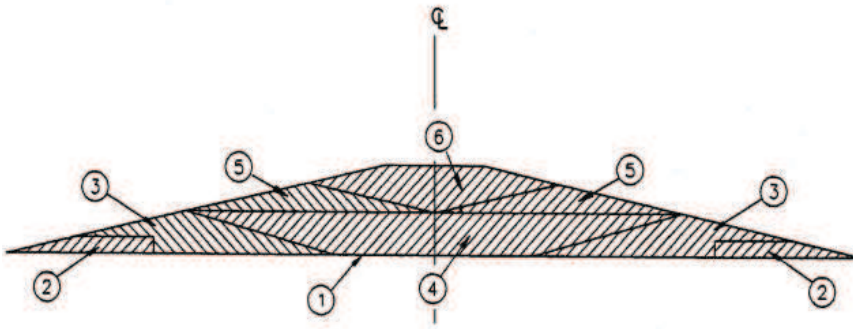
5. Timbunan harus dibangun dengan menggunakan peralatan konstruksi bertekanan rendah.

6. Apabila memungkinkan, lapisan pertama material timbunan setebal 0,5 – 1 m di atas geosintetik harus merupakan material berbutir yang bebas drainase *(free draining).* Selanjutnya timbunan dapat dibangun sampai elevasi rencana dengan material lokasi yang tersedia. Ini dibutuhkan untuk memperoleh interaksi gesek (friksi) terbaik antara tanah timbunan dan geosintetik, selain juga berfungsi sebagai lapisan drainase yang mendisipasi air pori dalam tanah dasar.

7. Untuk tanah yang sangat lunak seperti lumpur, timbunan harus dibangun dengan tahapan konstruksi yang diperlihatkan pada Gambar 4-4 berikut.

8. Lapis pertama hanya boleh dipadatkan dengan menekannya (*tracking in place*) menggunakan buldoser, loader atau alat lainnya; Setelah tinggi timbunan mencapai sekurang-kurangnya 0,6 m di atas tanah asli, lapisan-lapisan berikutnya dapat dipadatkan dengan pemadat roda besi bergetar atau alat pemadat lain yang sesuai. Apabila terjadi pelunakan lokal akibat getaran maka matikan alat getarnya dan gunakan berat sendiri alat sebagai media pemadatan. Untuk timbunan tak berbutir dapat digunakan jenis alat pemadatan yang lain.

9. Sejumlah instrumen seperti pisometer, pelat penurunan dan inklinometer dapat dipasang untuk memverifikasi asumsi desain serta mengontrol konstruksi.



Tahapan pelaksanaan:

1) hamparkan gulungan geotekstil secara menerus menjadi beberapa pita (*strip*) yang melintang arah rencana timbunan, sambungkan strip-strip tersebut;
2) timbun ujung-ujung jalan akses dan jaga agar geotekstil tidak sampai terlipat;
3) lakukan penimbunan di bagian terluar untuk menahan geotekstil;
4) lakukan penimbunan di bagian tengah bawah untuk menutup seluruh geotekstil;
5) lakukan penimbunan di bagian tengah dalam untuk mempertahankan tarik pada geotekstil;
6) lakukan penimbunan akhir di bagian tengah luar.

(Sumber: Holtz dkk, 1998)

Gambar 4-4: Tahapan Konstruksi untuk Timbunan dengan Perkuatan Geotekstil di Atas Tanah yang Sangat Lunak

4.2. Pinsip Dasar Pengawasan Lapangan

Prosedur pelaksanaan konstruksi sangat berpengaruh terhadap kinerja perkuatan timbunan di atas tanah yang sangat lunak. Dengan demikian dibutuhkan pengawas konstruksi yang kompeten dan profesional.

Untuk aplikasi geosintetik, terutama pada struktur-struktur kritis seperti dinding penahan tanah, dibutuhkan inspeksi lapangan yang profesional dan benar-benar penting dilakukan. Pengawas lapangan harus sudah dilatih dengan baik untuk dapat mengawasi setiap tahap konstruksi untuk memastikan bahwa:

- Bahan yang dikirimkan ke lokasi proyek telah sesuai dengan kebutuhan;
- Geosintetik tidak rusak selama konstruksi;
- Tahapan konstruksi yang dibutuhkan telah diikuti dengan benar.

Pengawas lapangan juga harus selalu mengkaji daftar *(checklist items)* yang diberikan pada tiap proyek atau pekerjaan. Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan adalah menjaga agar geosintetik tidak terkena sinar ultraviolet.

4.3. Pelaksanaan Pemantauan Konstruksi

Pengawasan lapangan umumnya memiliki dua tujuan, yang pertama adalah untuk menjamin keutuhan dan keselamatan sistem. Tujuan kedua adalah menyediakan panduan dan gambaran terhadap proses perencanaan (desain). Harus diperhatikan bahwa tujuan pemasangan instrumentasi tidak hanya untuk kebutuhan riset, namun juga untuk memverifikasi asumsi desain serta mengontrol konstruksi.

4.3.1. Tahapan Pemantauan Konstruksi

Metodologi untuk mengatur pelaksanaan monitoring instrumentasi geoteknik yang direkomendasikan dijelaskan di dalam langkah-langkah berikut:

1. Definisikan kondisi proyek
2. Prediksikan mekanisme yang mengontrol perilaku
3. Definisikan pertanyaan-pertanyaan yang butuh jawaban
4. Definisikan tujuan pemasangan instrumentasi
5. Pilih parameter-parameter yang akan dimonitor
6. Prediksikan besarnya perubahan.
7. Rencanakan langkah perbaikan
8. Tetapkan pekerjaan-pekerjaan yang relevan

9. Pilih instrumentasi lapangan
10. Pilih lokasi pemasangan instrumen
11. Rencanakan faktor-faktor yang mempengaruhi data hasil pengukuran
12. Susun prosedur untuk memastikan koreksi.
13. Buat daftar tujuan masing-masing instrumen
14. Siapakan anggaran.
15. Susun spesifikasi pengadaan instrumen.
16. Rencanakan pemasangan instrumen.
17. Rencanakan kalibrasi dan pemeliharaan berkala.
18. Rencanakan pengumpulan, pemrosesan, penyampaian, interpretasi, pelaporan dan implementasi data.
19. Tulis kesepakatan kontraktual untuk pelaksanaan di lapangan
20. Lakukan pengkinian anggaran apabila proyek/pekerjaan bertambah.

4.3.2. Metode Pemantauan Konstruksi dan Alat yang Digunakan

Khusus untuk timbunan, lereng dan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik, terdapat beberapa metode monitoring yang ditentukan berdasarkan jenis geosintetik serta fungsi atau aplikasinya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1: Metode dan Alat Monitoring Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geosintetik

Jenis Geosintetik	*Fungsi atau Aplikasi*	*Metode atau Alat yang Direkomendasikan*	*Opsi Lainnya*
Geotekstil	Perkuatan	• strain gauges	• earth pressure

		• alat survei pergerakan • inklinometer • ekstensometer	cells • inductance gauges • pore water transducers • alat ukur kadar air • pelat penurunan • alat ukur temperatur
Geogrid	Dinding	• strain gauges • inklinometer • ekstensometer • alat survei pergerakan statis *(monument surveying)*	• earth pressure cells • piezometer • pelat penurunan • probes untuk pH • alat ukur temperatur

Tabel 4-2: Deskripsi Pekerjaan Monitoring

Kategori	***Metode atau Alat***	***Hasil/Informasi yang Diperoleh***
Survei	*Monument surveying* Pelat penurunan	Pergerakan lateral permukaan vertikal Pergerakan vertikal pada kedalaman tertentu
Deformasi	Inklinometer Ekstensometer	Mengukur pergerakan vertikal di dalam casing dengan kemiringan hingga 45° Mengukur perubahan antara dua titik di dalam lubang bor
Pengukuran regangan	Strain gauges	Mengukur regangan material sepanjang gauge, tipikalnya 0,25 – 150 mm
Pengukuran tegangan	Earth pressure cells	Mengukur tegangan total yang bekerja di dalam sel (cells), dapat ditempatkan pada arah manapun,

		dapat pula mengukur tekanan terhadap dinding dan struktur
Tekanan air tanah	Piezometer	Mengukur tekanan air pori pada kedalaman tertentu
Temperatur	Bimetal thermometer	Mengukur temperatur
Kualitas cairan	pH probes	Mengukur pH cairan

Daftar di atas harus dipertimbangkan dalam perencanaan monitoring aplikasi geosintetik di lapangan apabila akan dilakukan pemasangan yang permanen atau kritis.

4.4. Pemantauan Konstruksi Timbunan

Pemantauan konstruksi yang dilakukan merupakan pemantauan minimum yang harus dilakukan pada sebuah proyek timbunan yang diperkuat dengan geosintetik, demikian pula dengan jenis-jenis instrumennya. Dengan kata lain, tidak menutup kemungkinan penggunaan instrumen lain di luar yang tercakup di dalam item-item instrumen berikut. Pemantauan konstruksi tersebut adalah:

a. Gunakan pisometer untuk mengukur tekanan air pori berlebih yang terbentuk selama pelaksanaan. Jika ditemukan tekanan air pori berlebih, maka konstruksi harus dihentikan sampai tekanannya turun dan mencapai nilai yang lebih aman. Pisometer dapat ditempatkan di atas maupun di bawah geosintetik. Alternatif pisometer yang dapat digunakan adalah pisometer pipa terbuka casagrande atau pisometer pneumatik. Metode pemasangan pisometer pipa terbuka casagrande mengacu pada metode SNI 03-3442-1994 sedangkan tata cara pemantauannya mengacu pada SNI-03-3443-1994. Metode pemasangan pisometer pneumatik mengacu pada SNI-03-3453-1994 dan cara pemantauannya mengacu pada SNI -03-3452-1994;

b. Pasang pelat penurunan untuk memantau terjadinya penurunan selama konstruksi dan untuk menyesuaikan kebutuhan timbunan tambahan. Pelat penurunan dapat dipasang kedalaman yang sama dengan geosintetik atau tertimbun di dalam tanah untuk mencegah rusaknya pelat akibat gangguan dari lingkungan sekitar (misal: tertabrak kendaraan yang melintas);

c. Pasang inklinometer di kaki timbunan untuk memantau pergerakan lateral. Selain inklinometer dapat pula digunakan *slip indicator* atau unting-unting. Pemasangan inklinometer mengacu pada SNI 03-3404-1994 tentang Metode Pemasangan Inklinometer. Pembacaan inklinometer mengacu pada SNI 03-3431-1994 tentang Tata Cara Pemantauan Gerakan Horizontal dengan Alat Inklinometer.

4.5. Soal Latihan

1. Berikut ini adalah instrumen yang diapsang pada timbunan yang diperkuat dengan geosintetik, kecuali:
   (a) Inklinometer
   (b) Pisometer
   (c) Total station
   (d) Pelat penurunan
2. Apakah hal-hal utama yang perlu diperhatikan oleh pengawas lapangan untuk menjaga kualitas geosintetik di lapangan ?
3. Manakah di antara alat-alat berikut yang direkomendasikan untuk mengontrol pergerakan vertikal pada kedalaman pemasangan tertentu ?
   (a) Ekstensometer
   (b) Strain gauges
   (c) Pelat penurunan
   (d) Tidak ada jawaban yang benar

4. Sebutkan fungsi dari pisometer yang Anda ketahui.

Jawaban Soal Latihan

Pasal 1

1. d
2. a
3. Lapisan geosintetik (geotekstil, geogrid atau geokomposit) yang dipasang di atas tanah dasar lunak dan membangun timbunan langsung di atasnya.
4. Kuat tarik dan kekakuan, karakteristik ikatan antara tanah dan geosintetik, karakteristik rangkak, ketahanan geosintetik terhadap kerusakan mekanik dan durabilitas

Pasal 2

1. d
2. a
3. Tanah dasar sangat lunak dan perkuatan memperoleh tegangan tarik yang sangat besar pada saat konstruksi.

Pasal 3

1. b
2. c
3. b
4. b

Pasal 4

1. c
2. Mengkaji daftar *(checklist items)* yang diberikan pada tiap proyek atau pekerjaan dan menjaga agar geosintetik tidak terkena sengatan sinar ultraviolet.
3. c
4. Mengukur kelebihan tekanan air pori yang terdisipasi selama pelaksanaan

Acknowledgement

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.

Terima kasih juga diucapkan pada Prof. Dr. Georg Heerten, German Geotechnical Society atas ijinnya untuk menggunakan gambar dan foto dari bahan ajarnya di Aachen University, Jerman dalam modul ini.

Daftar Istilah

Indonesia	Inggris
Antarmuka	Interface
Arah Mesin	Warp
Cabut	Pullout
Drainase dasar	Basal drainage
Embedment length	Panjang pembenaman
Geosel	Geocell
Geosintetik	Geosynthetics
Grid	Grid
Ikatan (pengangkuran)	Anchorage
Kompresibilitas	Compressibility
Kuncian **Pita**	Interlock Strip
Perkuatan dasar	Basal reinforcement
Rangkak	Creep
Selubung	Wraparound
Tak teranyam	Non woven
Teranyam	Woven
Tak-teranyam	Non woven
Teranyam	Woven

Daftar Pustaka

BSI Standars Publication. *BS 8006-1: 2010. Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills.* British Standard. October 2010.

DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, No. 003/BM/2009*. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

Koerner, Robert M. 2005. *Designing with Geosynthetic, 5th Edition*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering.* Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Shukla, S.K. 2002. *Geosynthetic and Their Applications.* Thomas Telford. London.

Modul Pelatihan Geosintetik

VOLUME 3. PERENCANAAN GEOSINTETIK UNTUK PERKUATAN LERENG

Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

Kata Pengantar

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil filter.

Modul Volume 3 ini merupakan aplikasi dari penggunaan geosintetik sebagai perkuatan lereng yang berisi gambaran umum sifat-sifat teknis tanah dasar, tanah timbunan yang diperkuat, tanah timbunan yang ditahan, sifat-sifat geosintetik, interaksi tanah dan geosintetik dan tahapan perencanaan dan pelaksanaan lereng tanah yang diperkuat. Pada modul ini, tahapan perencanaan lereng tanah yang diperkuat diterangkan secara rinci mulai dari fungsi dan mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik, hingga tahapan perencanaan dan pelaksanaan. Sehubungan dengan fungsi dan aplikasi geosintetik sebagai perkuatan lereng, modul ini memberikan gambaran konsep dasar untuk mensimulasikan tahapan perencanaan agar Peserta Pelatihan dapat menentukan skema perkuatan geosintetik yang dibutuhkan ketika terlibat dalam desain atau konstruksi perkuatan lereng.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

Tujuan

Tujuan pelatihan ini adalah agar peserta mampu memahami sifat-sifat teknis, perencanaan dan pelaksanaan geosintetik untuk lereng tanah yang diperkuat.

Tujuan Instruksional Umum

Peserta diharapkan mampu memahami sifat-sifat teknis tanah dasar, timbunan dan geosintetik untuk dapat menentukan kondisi yang sesuai dengan aplikasi lereng tanah yang diperkuat.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

- Memahami fungsi utama dan aplikasi lereng tanah yang diperkuat serta mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik,
- Memahami sifat-sifat teknis tanah dasar, timbunan dan geosintetik yang dibutuhkan dalam desain,
- Memahami tahapan-tahapan perencanaan lereng tanah yang diperkuat,
- Menentukan rekomendasi perencanaan lereng tanah yang diperkuat
- Memahami prosedur pelaksanaan lereng tanah yang diperkuat

Daftar Isi

1. Pengantar 1
2. Pemilihan Sifat-sifat Teknis 6
   2.1. Tanah dasar 6
   2.2. Tanah Timbunan yang Diperkuat 6
   2.3. Tanah Timbunan yang Ditahan 9
   2.4. Sifat-sifat Elektrokimia 10
   2.5. Sifat-sifat Geosintetik 11
      2.5.1. Karakteristik Geometri 11
      2.5.2. Sifat-sifat Kekuatan Geosintetik 12
   2.6. Interaksi tanah dan geosintetik 13
      2.6.1. Evaluasi kinerja tahanan cabut; 13
      2.6.2. Evaluasi kinerja tahanan cabut; 13
      2.6.3. Gesekan antar permukaan; 14
3. Perencanaan lereng tanah yang diperkuat 15
   3.1. Konsep perencanaan; 15
   3.2. Prosedur perencanaan lereng tanah yang diperkuat; 16
4. Prosedur pelaksanaan lereng tanah yang diperkuat 55
   4.1. Prosedur pelaksanaan; 55
   4.2. Pengawasan Lapangan 57
   4.3. Pertimbangan biaya 58
   Soal Latihan : 59

Daftar Gambar

Gambar 1.1: Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik.....2
Gambar 1.2. Penggunaan Geosintetik Sebagai Perkuatan Lereng.....3
Gambar 1.3. Aplikasi lereng tanah yang diperkuat untuk konstruksi jalan baru.....4
Gambar 1.4. Aplikasi lereng tanah yang diperkuat untuk pelebaran timbunan jalan lama.....5
Gambar 1.5. Aplikasi Lereng Tanah yang Diperkuat untuk perbaikan keruntuhan lereng.....5
Gambar 2.1. Ilustrasi tanah timbunan yang diperkuat....7
Gambar 2.2. ilustrasi tanah timbunan yang ditahan.....10
Gambar 3.1. Moda Keruntuhan Lereng Tanah yang Diperkuat.....16
Gambar 3.2. Tahapan Prosedur Perencanaan Lereng Tanah yang Diperkuat.....17
Gambar 3.3. Simbol dalam Perencanaan Perkuatan Lereng.....20
Gambar 3.4. Zona Kritis yang Memenuhi Target Faktor Keamanan Berdasarkan Bidang Rotasi dan Gelincir.....23
Gambar 3.5. Pendekatan Geser Rotasional untuk Menentukan Kekuatan Geosintetik yang Dibutuhkan...25
Gambar 3.6. Grafik untuk Menentukan Besarnya Kekuatan Perkuatan (Schmertmann, dkk dalam Elias dkk, 2001).....26

Gambar 3.7. Hubungan Antara Spasi dan Kekuatan Geosintetik..... 27
Gambar 3.8. Syarat Spasi dan Panjang Pembenaman untuk Perkuatan Lereng yang Memperlihatkan Perkuatan Primer dan Perkuatan Sekunder..... 30
Gambar 3.9. Syarat Spasi dan Panjang Pembenaman untuk Perkuatan Lereng yang Memperlihatkan Perkuatan Primer dan Perkuatan Sekunder..... 32
Gambar 3.10. Analisis Stabilitas Gelincir..... 35
Gambar 3.11. Analisis Stabilitas Global..... 36
Gambar 3.12. Keruntuhan Daya Dukung Lokal (Pergerakan Lateral)..... 37
Gambar 3.13. Analisis Stabilitas Gempa..... 38
Gambar 4.1. Pemasangan Lapis Perkuatan..... 57

Daftar Tabel

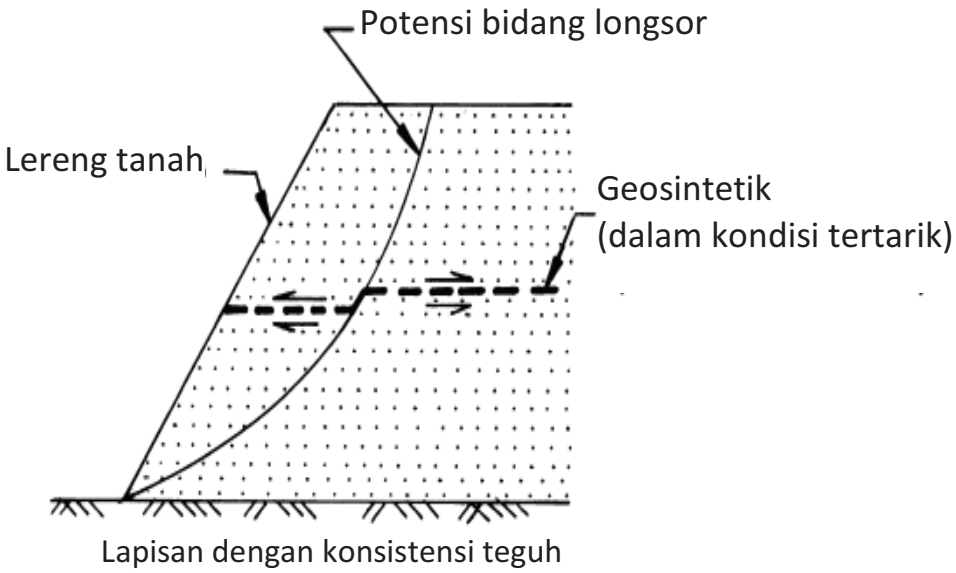
Tabel 2.1. Rekomendasi Persyaratan untuk Timbunan yang Diperkuat 8
Tabel 2.2. Beberapa Kisaran Nilai Sifat-sifat Indeks dan Mekanis Tanah 9
Tabel 2.3. Syarat Elektrokimia Timbunan yang Diperkuat (Elias dkk, 2001) 10
Tabel 3.1. Rentang R_{FCR} Geosintetik Jenis Polimer (Elias dkk, 2001)..... 22
Tabel 3.2. Faktor tahanan cabut (Elias dkk, 2001)..... 31
Tabel 3.3. Rekomendasi Penutupan Muka Lereng yang Diperkuat..... 41

1 Pengantar

Lereng tanah yang diperkuat adalah suatu bentuk stabilisasi tanah secara mekanis dengan menggunakan elemen perkuatan sebidang dalam suatu struktur lereng yang mempunyai kemiringan permukaan kurang dari 70°.

Geosintetik memiliki banyak kegunaan dalam rekayasa sipil. Salah satunya adalah sebagai fungsi stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat mekanis massa tanah, meningkatkan faktor keamanan lereng dan menstabilkan lereng dengan kemiringan curam (kurang dari 70°). Lereng tanah yang diperkuat umumnya terdiri dari timbunan padat yang digabungkan dengan perkuatan geosintetik yang disusun kearah horisontal. Ketika tanah dan geosintetik digabungkan, material komposit (tanah yang diperkuat) tersebut menghasilkan kekuatan tekan dan tarik tinggi sehingga dapat menahan gaya yang bekerja dan deformasi. Pada tahapan tersebut, geosintetik berlaku sebagai bagian tahanan tarik (gesekan, adhesi, saling mengikat (*interlocking*) atau pengurungan (*confinement*)) yang digabungkan ke tanah/timbunan dan menjaga stabilitas massa tanah.

Untuk mempermudah pemahaman geosintetik sebagai perkuatan lereng tanah, Gambar 1.1 memperlihatkan dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik untuk mengatasi permasalahan longsoran.

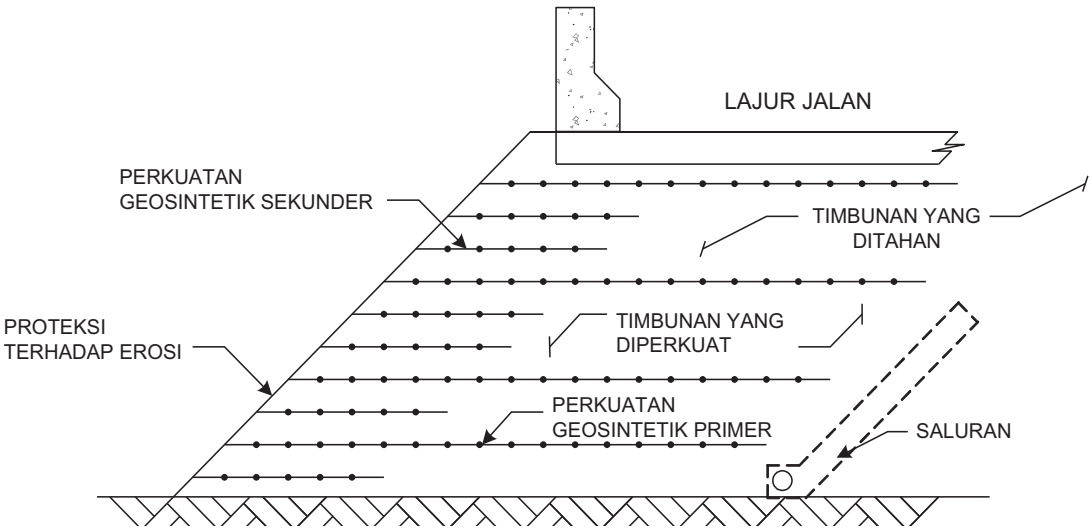


Gambar 1.1: Dasar mekanisme perkuatan lereng tanah dengan geosintetik

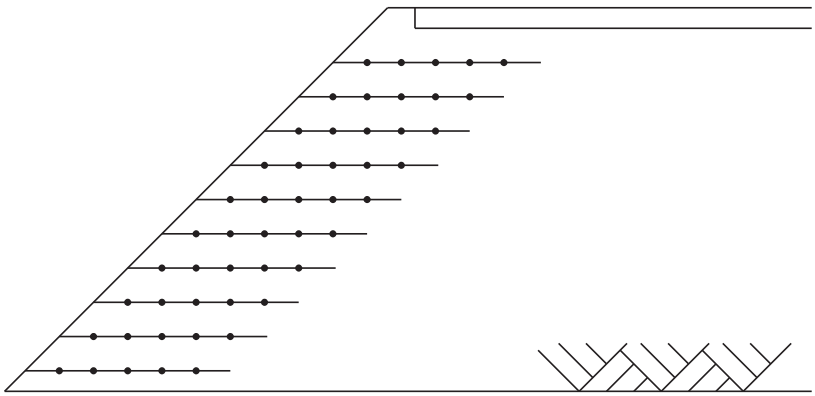
Fungsi utama dari lereng tanah yang diperkuat adalah:

a. Meningkatkan stabilitas lereng, terutama jika diinginkan sudut kemiringan lereng lebih besar tetapi tetap aman dibandingkan dengan lereng yang tidak diperkuat, atau setelah terjadinya keruntuhan (lihat Gambar 1.2a).

b. Fungsi dari geosintetik yang ditempatkan di tepi lereng timbunan yang dipadatkan adalah untuk memberikan tahanan lateral selama pemadatan timbunan (lihat Gambar 1.2b). Perkuatan tepi tersebut juga memungkinkan beroperasinya alat berat secara aman di tepi lereng.



(a) Perkuatan untuk meningkatkan stabilitas lereng



(b) Perkuatan untuk meningkatkan kepadatan di kaki lereng dan stabilitas permukaan lereng

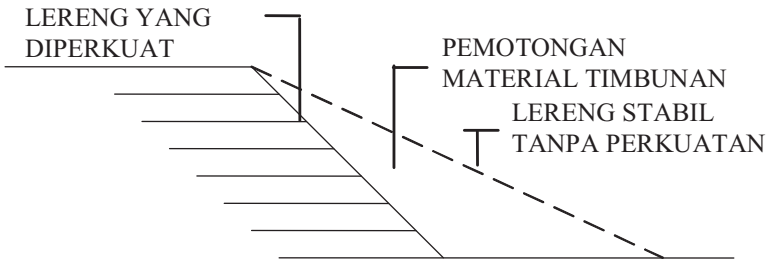
(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 1.2. Penggunaan Geosintetik Sebagai Perkuatan Lereng

Lereng yang diperkuat diantaranya diaplikasikan pada pekerjaan-pekerjaan sebagai berikut:

a. Konstruksi timbunan jalan baru dengan keuntungan ekonomis diantaranya;

- Lereng yang diperkuat dapat menghasilkan lereng stabil yang lebih tegak dibandingkan dengan lereng tanpa perkuatan pada kondisi tanah yang sama;
- Mengurangi pemakaian lahan karena lereng dengan perkuatan dapat lebih tegak;
- Mengurangi volume bahan timbunan;
- Memungkinkan digunakannya timbunan dengan kualitas yang lebih rendah atau tanah setempat untuk kebutuhan keseimbangan volume pekerjaan tanah.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 1.3. Aplikasi lereng tanah yang diperkuat untuk konstruksi jalan baru

b. Pelebaran timbunan jalan lama dengan keuntungan ekonomis diantaranya;

- Pelebaran timbunan jalan dapat dilakukan lebih lebar dari lereng awal tanpa perkuatan tanpa melewati batas ruang milik jalan yang tersedia;
- Memungkinkan digunakannya timbunan dengan kualitas yang lebih rendah atau tanah setempat untuk kebutuhan keseimbangan volume pekerjaan tanah.

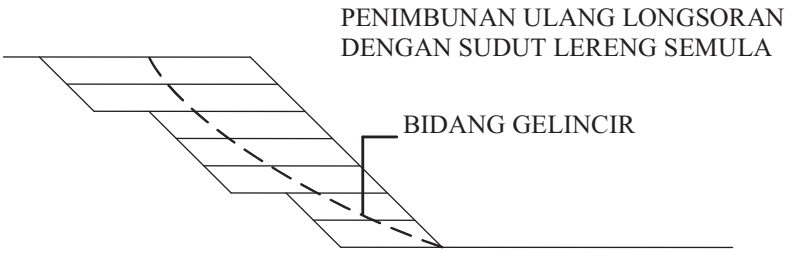
(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 1.4. Aplikasi lereng tanah yang diperkuat untuk pelebaran timbunan jalan lama

c. Perbaikan keruntuhan lereng dengan keuntungan ekonomis diantaranya;

   – Memungkinkan penggunaan kembali material debris longsoran sebagai material timbunan untuk perbaikan keruntuhan lereng dengan lereng yang diperkuat;

   – Lereng yang diperkuat dapat menghasilkan lereng stabil dengan sudut lereng sesuai kondisi semula sebelum terjadi longsoran.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 1.5. Aplikasi Lereng Tanah yang Diperkuat untuk perbaikan keruntuhan lereng

2 Pemilihan Sifat-sifat Teknis

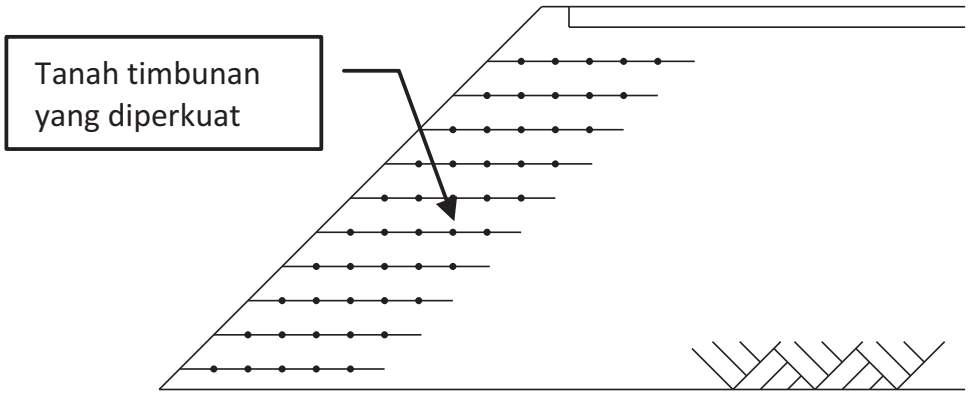
Bab 2 ini menjelaskan sifat-sifat teknis tanah dasar, tanah timbunan yang diperkuat, tanah timbunan yang ditahan, sifat elektrokimia tanah timbunan yang diperkuat dengan geosintetik serta sifat-sifat geoseintetik untuk perkuatan lereng. Pemilihan tanah timbunan dan geosintetik harus mengikuti ketentuan yang berlaku agar tujuan perkuatan lereng yang diinginkan terpenuhi.

2.1. Tanah dasar

Pemilihan sifat-sifat teknis tanah dasar harus difokuskan untuk penentuan daya dukung, potensi penurunan, dan posisi muka air tanah. Penentuan kapasitas daya dukung membutuhkan parameter kohesi (c), sudut geser (ϕ) dan berat isi (γ) serta posisi muka air tanah. Untuk penentuan penurunan tanah dasar diperlukan parameter koefisien konsolidasi (c_v), indeks kompresibilitas (C_c) dan angka pori (e).

2.2. Tanah Timbunan yang Diperkuat

Tanah timbunan yang diperkuat adalah material timbunan dimana perkuatan diletakkan (lihat Gambar 2.1). Pemilihan kriteria tanah timbunan yang diperkuat harus mempertimbangkan kinerja jangka panjang struktur, stabilitas masa konstruksi dan faktor degradasi lingkungan yang terjadi terhadap perkuatan.



Gambar 2.1. Ilustrasi tanah timbunan yang diperkuat

Pengetahuan dan pengalaman dengan lereng tanah yang diperkuat dan distabilisasi secara mekanis selama ini hanyalah dengan menggunakan tanah timbunan berbutir (non-kohesif). Oleh karena itu pengetahuan tentang distribusi tegangan internal, tahanan cabut, dan bentuk bidang keruntuhan terbatas pada sifat-sifat teknis dari jenis tanah tersebut.

Setiap tanah yang memenuhi syarat sebagai timbunan dapat digunakan dalam sistem perkuatan lereng. Akan tetapi material dengan kualitas tinggi akan memudahkan pemadatan dan meminimalkan kebutuhan perkuatan.

Berdasarkan beberapa hal tersebut di atas, persyaratan timbunan yang diperkuat yang direkomendasikan adalah seperti diperlihatkan pada Tabel 2.1. Spesifikasi Buku 3 Bina Marga dapat digunakan, tetapi untuk tanah timbunan yang ditahan, bukan tanah timbunan yang diperkuat (lihat penjelasannya di sub bab 2.3).

Tabel 2.1. Rekomendasi Persyaratan untuk Timbunan yang Diperkuat

Ukuran saringan	Persen lolos
20 mm*	100
4,75 mm (No. 4)	100 – 20
0,425 mm (No. 40)	0 – 60
0,075 mm (No. 200)	0 – 50
Indeks plastisitas (PI) ≤ 20 mengacu ke SNI 03-1966-1990 (AASHTO T 90)	
Ketahanan (*soundness*): kehilangan ketahanan magnesium sulfat < 30% setelah 4 siklus atau kehilangan ketahanan sodium sulfat < 15% setelah 5 siklus (merujuk ke AASHTO T 104)	
* : ukuran butir maksimum dapat sampai 100mm dengan syarat uji lapangan telah atau akan dilakukan untuk mengevaluasi potensi reduksi kekuatan geosintetik akibat instalasi. Pada semua kasus, faktor reduksi kekuatan geosintetik harus diperiksa terhadap ukuran butir dan ketajaman batu.	

Tanah timbunan harus dipadatkan hingga mencapai 95% berat isi kering (γ_d) pada kadar air optimum w_{opt}, ($\pm$ 2%) sesuai dengan SNI 03-1742-1989 Metode Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah (AASHTO T-99). Tanah kohesif sebaiknya dipadatkan dengan ketebalan penghamparan 15 cm sampai dengan 20 cm, sedangkan tanah granular dipadatkan dengan ketebalan penghamparan 20 cm sampai dengan 30 cm.

Uji elektrokimia sebaiknya dilakukan pada tanah timbunan untuk mendapatkan data untuk mengevaluasi degradasi perkuatan. Pengendalian kadar air dan kepadatan selama masa konstruksi sangat diperlukan untuk mencapai nilai-nilai kekuatan dan interaksi yang diharapkan. Deformasi selama masa konstruksi juga harus dimonitor dengan seksama dan harus dijaga agar tetap tidak melebihi batasan-batasan yang disyaratkan. Monitoring kinerja juga disarankan untuk tanah timbunan di luar syarat yang disarankan padaTabel 2.1.

Tabel 2.2 memperlihatkan beberapa nilai kisaran nilai sifat-sifat indeks dan mekanis tanah yang dapat digunakan sebagai acuan dalam menilai

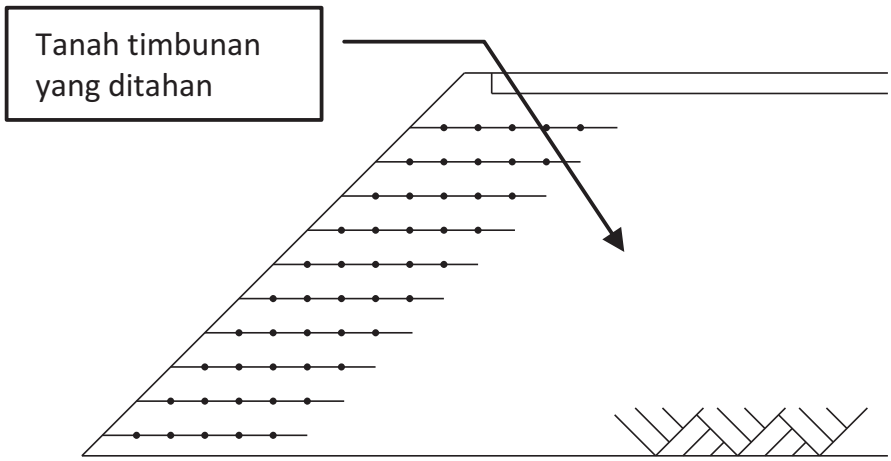
keandalan hasil pengujian tanah timbunan. Sumber tabel tersebut adalah CUR (1996) dan nilai-nilai untuk tanah merah (laterit) diambil dari hasil pengujian laboratorium yang dilakukan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum.

Tabel 2.2. Beberapa Kisaran Nilai Sifat-sifat Indeks dan Mekanis Tanah

Jenis tanah	Indeks Plastisitas	Berat Isi (kN/m^3)	Berat Isi Kering Max (kN/m^3)	c' (kpa)	ϕ' (deg)
Pasir Halus sampai Kasar	-	19-20	19	-	35-40
Pasir sedikit kelanauan, kelempungan	-	18-19	18	-	27-32.5
Tanah Merah	30-50	16-17.5	12.5*	10-25	20-40
Keterangan *: pada kadar air optimum 40%					

2.3. Tanah Timbunan yang Ditahan

Tanah timbunan yang ditahan adalah material timbunan yang terletak dibelakang zona tanah yang distabilisasi secara mekanis (lihat Gambar 2.2). Sifat penting yang dibutuhkan adalah kuat geser dan berat isi tanah. Kohesi dan sudut geser serta berat isi ditentukan melalui uji geser langsung terdrainase (*drained*) atau triaksial terkonsolidasi-terdrainase (*consolidated-drained*). Apabila contoh tanah tak terganggu tidak dapat diperoleh, maka sudut geser dapat diperoleh dari pengujian lapangan ataupun korelasi dengan hasil uji indeks. Parameter kuat geser ini digunakan untuk menentukan nilai tekanan tanah aktif (K_a).



Gambar 2.2. ilustrasi tanah timbunan yang ditahan

Jika muka air tanah lebih tinggi dari dasar rencana lereng maka diperlukan perencanaan skema pengaliran air yang tepat. Untuk tanah timbunan berbutir dan tanah berplastisitas rendah, rentang sudut geser adalah 28° sampai dengan 30°. Untuk tanah timbunan yang bersifat plastis (PI>40), dapat diperoleh nilai yang lebih rendah dan harus diperiksa pada kondisi terdrainase (*drained*) maupun tak terdrainase (*undrained*).

2.4. Sifat-sifat Elektrokimia

Syarat kriteria elektrokimia untuk tanah timbunan yang diperkuat dengan geosintetik bergantung pada jenis polimer seperti diperlihatkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Syarat Elektrokimia Timbunan yang Diperkuat (Elias dkk, 2001)

Jenis Polimer	Syarat Nilai pH Tanah	Metode Uji
Poliester (PET)	3 < pH < 9	AASHTO T289-91
Poliolefin (PP dan HDPE)	pH > 3	AASHTO T289-91

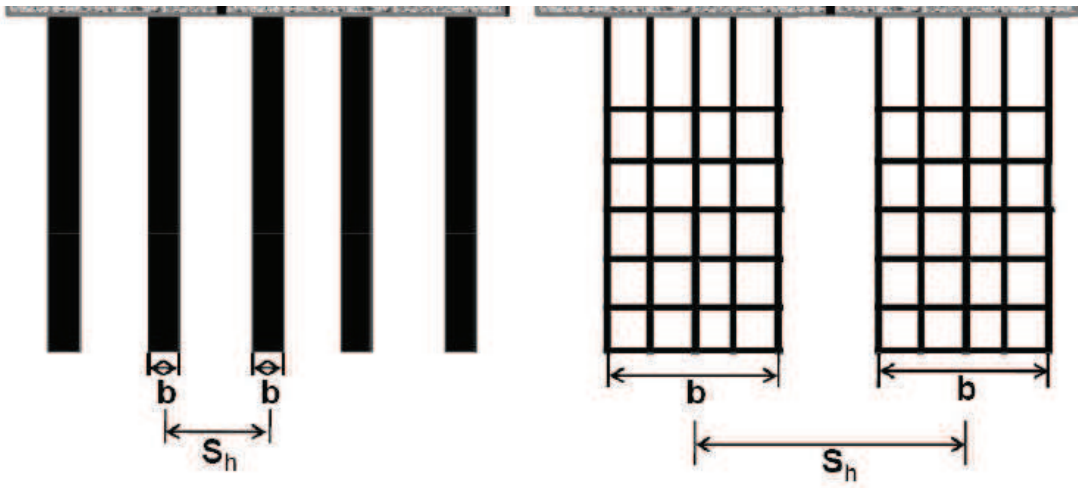
2.5. Sifat-sifat Geosintetik

2.5.1. Karakteristik Geometri

Sifat-sifat struktur rencana dari geosintetik merupakan suatu fungsi dari karakteristik geometrik, kekuatan dan kekakuan, durabilitas dan jenis material.

Suatu lapis pita-pita geotekstil dan geogrid dicirikan oleh lebar dan jarak horizontal dari as ke as dari pita-pita tersebut. Luas potongan melintang tidak diperlukan karena kekuatan pita geosentetik digambarkan dengan gaya tarik per satuan lebar, bukan oleh tegangan. Kesulitan-kesulitan dalam mengukur tebal dari bahan yang tipis dan relatif kompresibel mengakibatkan perkiraan tegangan menjadi tidak realistis.

Rasio liputan R_c digunakan untuk menghubungkan gaya per satuan lebar dari perkuatan yang terpisah terhadap gaya per satuan lebar yang dibutuhkan pada seluruh struktur, yaitu:



$$R_c = \frac{b}{S_h} \quad \text{..... [2-1]}$$

dengan pengertian:

b = lebar kotor dari pita, lembaran atau grid (m)

S_h = spasi horizontal dari as ke as antara pita-pita, lembaran-lembaran atau grid-grid (m)

R_c = 1 untuk perkuatan lembaran menerus.

2.5.2. Sifat-sifat Kekuatan Geosintetik

Sifat-sifat kekuatan geosintetik ditentukan oleh faktor lingkungan seperti rangkak, kerusakan saat instalasi, penuaan, suhu dan tegangan pengekang (*confining stress*). Kuat geser ijin jangka panjang geosintetik harus ditentukan melalui pertimbangan menyeluruh terhadap elongasi ijin, potensi rangkak dan seluruh potensi mekanisme degradasi kekuatan.

Secara umum, produk-produk poliester (PET) peka terhadap penurunan kekuatan akibat penuaan karena hidrolisis (ketersediaan air) dan temperatur tinggi. Produk-produk poliolefin (PP dan HDPE) peka terhadap kehilangan kekuatan akibat penuaan karena oksidasi (kontak dengan oksigen) dan atau temperatur tinggi. Oksidasi geosintetik dalam tanah dapat terjadi dengan laju yang hampir sama dibandingkan dengan geosintetik yang berada di atas tanah.

Walaupun sebagian besar perkuatan geosintetik dikubur dalam tanah, stabilitas geosintetik terhadap ultraviolet selama masa konstruksi harus tetap diperhatikan. Jika geosintetik digunakan pada lokasi yang terpapar ultraviolet (misalnya untuk membungkus dinding atau bagian muka lereng), maka geosintetik sebaiknya dilindungi dengan bahan pelindung atau unit-unit penutup untuk mencegah kerusakan. Penutupan dengan tanaman dapat dilakukan jika menggunakan geotekstil anyaman terbuka atau geogrid.

Kerusakan saat penanganan dan konstruksi, seperti akibat abrasi dan aus, coblos dan robek atau gores, serta retak dapat terjadi pada grid polimer yang getas. Jenis-jenis kerusakan ini dapat dihindari dengan perlakuan yang hati-hati selama penanganan dan konstruksi. Alat berat dengan roda rantai baja (*track*) tidak diperbolehkan melintas langsung di atas geosintetik.

Kerusakan saat penimbunan merupakan fungsi dari beban yang ditimpakan pada geosintetik selama masa konstruksi serta ukuran dan kebundaran (*angularity*) bahan timbunan. Untuk lereng tanah yang diperkuat, penggunaan geotekstil ber-massa rendah dan kekuatan

rendah sebaiknya dihindari untuk meminimalkan kerusakan yang menyebabkan berkurangnya kekuatan geotekstil.

Kuat tarik jangka panjang geosintetik harus ditentukan berdasarkan pendekatan faktor keamanan parsial. Faktor reduksi digunakan untuk menghitung kekuatan geosintetik meliputi faktor kerusakan pada saat instalasi, faktor rangkak serta kondisi biologi dan kimia.

2.6. Interaksi tanah dan geosintetik

Koefisien interaksi tanah dengan geosintetik atau disebut kemampuan cabut yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan meliputi koefisien cabut dan koefisien gesekan antar bidang permukaan.

2.6.1. Evaluasi kinerja tahanan cabut;

Perencanaan perkuatan lereng membutuhkan evaluasi kinerja cabut jangka panjang yang mempertimbangkan tiga kriteria dasar berikut ini:

- Kapasitas cabut: tahanan cabut pada perkuatan harus cukup kuat menahan gaya tarik rencana yang bekerja di dalam perkuatan dengan faktor keamanan cabut FK_{PO} minimum adalah 1,5.
- Perpindahan (*displacement*) izin: perpindahan relatif tanah terhadap perkuatan yang dibutuhkan untuk memobilisasi gaya tarik rencana harus lebih kecil daripada perpindahan yang diizinkan.
- Perpindahan jangka panjang: beban cabut harus lebih kecil daripada beban rangkak kritis.

2.6.2. Evaluasi kinerja tahanan cabut;

Tahanan cabut puncak (P_r) per satuan lebar perkuatan ditentukan melalui persamaan berikut:

$$P_r = F^* \cdot \alpha \cdot \sigma'_v \cdot L_e \cdot C \quad \text{..... [2-2]}$$

dengan pengertian:

F^* = faktor tahanan cabut;

α = faktor koreksi skala;

σ'_v = tegangan vertikal efektif pada antarmuka (batas) antara tanah dan geosintetik (kN/m^2).

L_e = panjang tertanam pada zona yang ditahan di belakang bidang keruntuhan (m);

C = keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil nilai C = 2;

Faktor tahanan cabut F* dan faktor koreksi skala α yang paling akurat melalui pengujian tarik cabut terhadap contoh material timbunan yang akan digunakan. Jika data hasil pengujian tidak tersedia, maka nilai α untuk geogrid adalah 0,8 dan untuk geotekstil 0,6 sedangkan nilai F*=2/3 tan ϕ.

Sudut ϕ di atas merupakan sudut geser tanah yang minimal dihasilkan dari pengujian di laboratorium. Untuk perkuatan lereng, besarnya ϕ untuk timbunan yang diperkuat umumnya didapat melalui pengujian, akibat bervariasinya material timbunan yang digunakan. Nilai terendah yang biasa digunakan adalah 28°.

2.6.3. Gesekan antar permukaan;

Gesekan antar permukaan geosintetik dan tanah timbunan seringkali lebih rendah daripada sudut geser tanah, sehingga dapat membentuk bidang gelincir. Sudut gesek antar permukaan ρ ditentukan dari uji geser langsung antara tanah dan geosintetik dengan acuan ASTM D 5321 atau ISO 12957-1:2005. Apabila hasil pengujian tidak tersedia, maka koefisien gesekan antar permukaan ditentukan dengan persamaan 2/3 tan ϕ untuk geotekstil, geogrid dan drainase komposit tipe geonet.

3 Perencanaan lereng tanah yang diperkuat

Bab 3 ini menjelaskan perencanaan lereng tanah yang diperkuat, meliputi kriteria perencanaan, prosedur dan tahapan analisis yang diperlukan dalam merencanakan lereng tanah yang diperkuat disertai dengan contoh kasus perhitungannya. Penentuan parameter desain untuk kebutuhan perencanaan seperti dijelaskan pada Bab 2

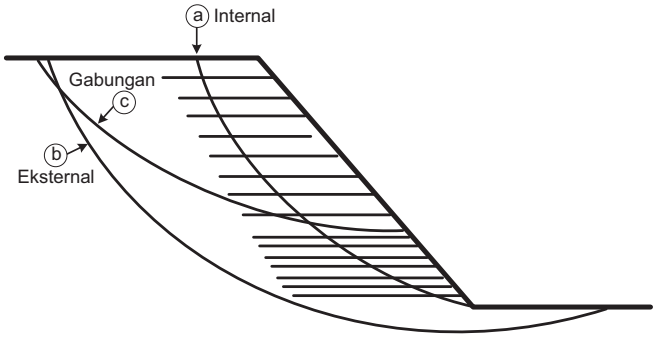
3.1. Konsep perencanaan;

Persyaratan perencanaan untuk lereng yang diperkuat pada intinya sama dengan perencanaan lereng tanpa perkuatan: faktor keamanan harus memenuhi untuk jangka panjang dan jangka pendek terhadap mode-mode keruntuhan yang dapat terjadi. Tiga mode keruntuhan yang dapat terjadi adalah (lihat Gambar 3.1):

a. Keruntuhan internal, dimana bidang keruntuhan memotong elemen perkuatan;

b. Keruntuhan eksternal, dimana bidang keruntuhan melewati bagian belakang dan di bawah massa tanah yang diperkuat;

c. Keruntuhan gabungan, dimana bidang keruntuhan melewati bagian belakang dan juga memotong massa tanah yang diperkuat.

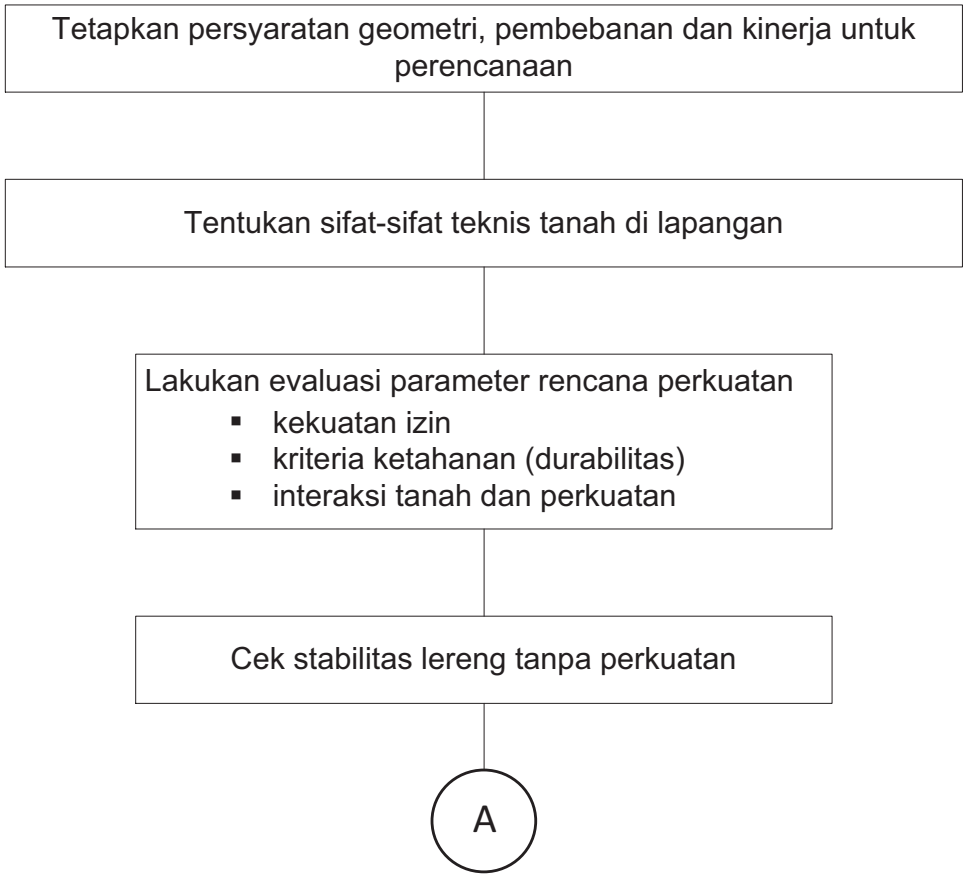


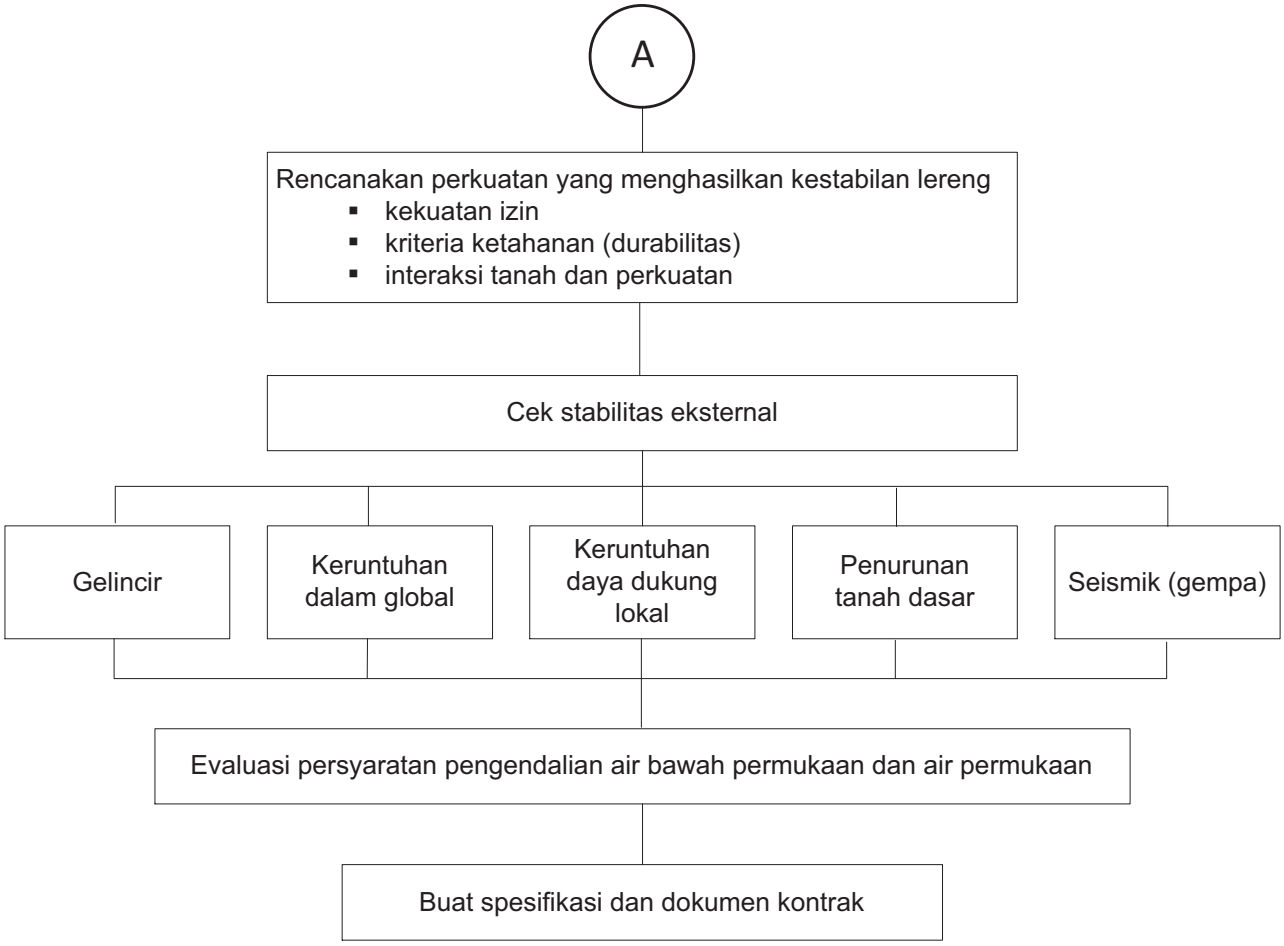
(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.1. Moda Keruntuhan Lereng Tanah yang Diperkuat

3.2. Prosedur perencanaan lereng tanah yang diperkuat;

Prosedur perencanaan lereng yang diperkuat ditunjukkan dengan bagan alir pada Gambar 3.2.





(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.2. Tahapan Prosedur Perencanaan Lereng Tanah yang Diperkuat

Tahapan perencanaan lereng tanah yang diperkuat adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Tetapkan persyaratan geometri, pembebanan dan kinerja untuk perencanaan (lihat Gambar 3.3).

A. Persyaratan perencanaan geometri dan pembebanan meliputi:

1) Tinggi lereng, H;

2) Sudut lereng, β;

3) Beban luar, terdiri dari:

a. Beban tambahan, q, yaitu beban mati yang akan dipikul lereng, misalnya bangunan gedung di atas lereng;

b. Beban hidup sementara, Δq;

c. Percepatan gempa rencana, A_m (merujuk ke SNI 03-2833-1992)

4) Beban pembatas jalan (*traffic barriers*)

B. Persyaratan kinerja:

1) Stabilitas eksternal dan penurunan;

a. Geser horizontal massa tanah yang diperkuat terhadap tanah dasar, FK $\geq$ 1,3;

b. Keruntuhan eksternal, keruntuhan daya dukung dalam, FK $\geq$ 1,3;

c. Keruntuhan daya dukung lokal (peremasan/*squeezing* lateral), FK $\geq$ 1,3;

d. Pembebanan dinamik, FK $\geq$ 1,1;

e. Besaran dan kecepatan penurunan pasca konstruksi;

2) Mode keruntuhan gabungan, FK $\geq$ 1,3;

3) Stabilitas internal, FK $\geq$ 1,3.

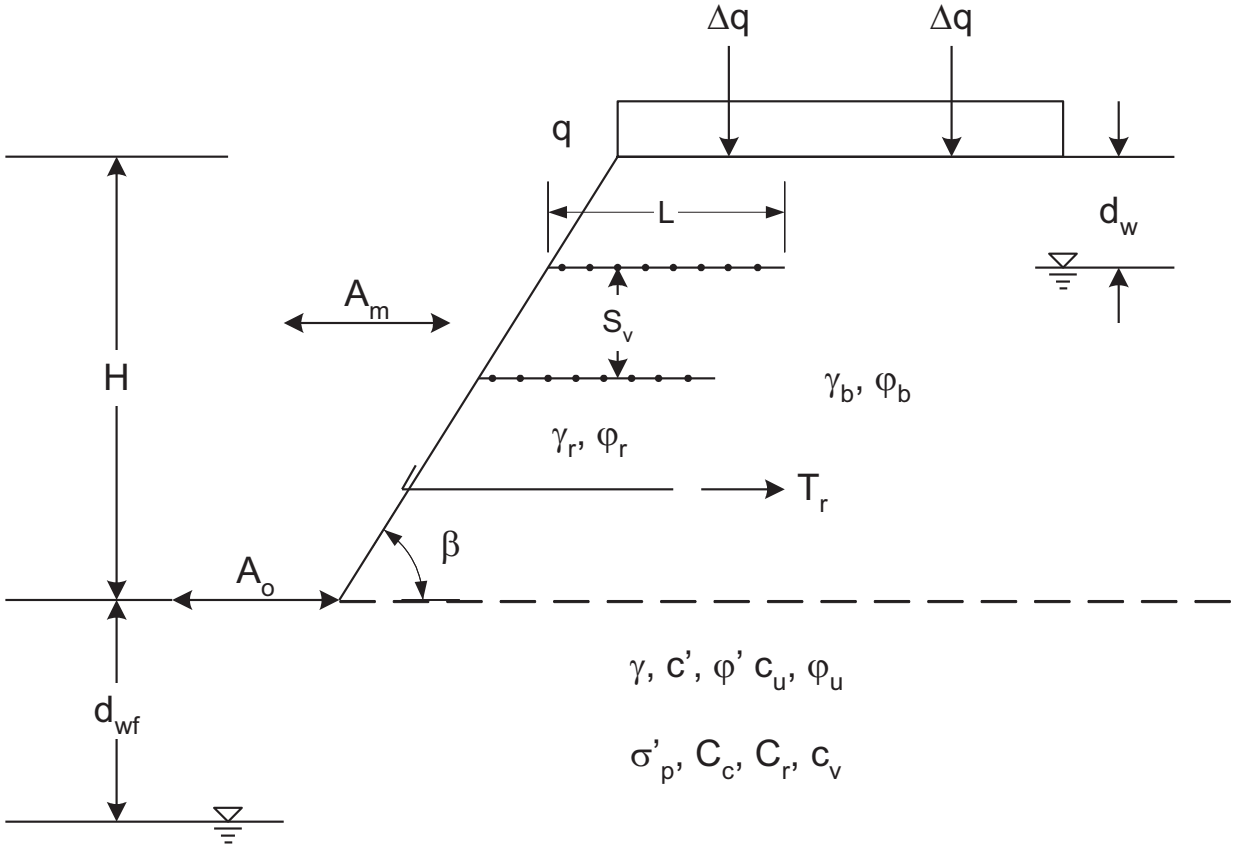
Langkah 2: Tentukan sifat-sifat teknis tanah di lapangan (Gambar 3.3)

A. Tentukan profil tanah dasar dan tanah yang ditahan yaitu di bawah dan di belakang zona yang diperkuat di sepanjang alinyemen lereng. Profil dibuat setiap 30 m sampai 60m tergantung pada homogenitas profil tanah dasar dan cukup dalam sehingga dapat dilakukan evaluasi terhadap keruntuhan dalam. Kedalaman pengujian disarankan dua kali dari tinggi lereng atau sampai tanah keras.

B. Tentukan parameter kuat geser untuk tanah dasar dan tanah yang ditahan (c_u, ϕ_u atau c' dan ϕ'); berat isi (basah dan kering); parameter konsolidasi C_c , C_r , dan c_v dan σ_p'.

C. Ukur muka air tanah, d_w, dan permukaan pisometrik (terutama untuk air yang keluar dari permukaan lereng);

D. Untuk perbaikan lereng dan longsor, lakukan identifikasi penyebab ketidakstabilan serta lokasi bidang keruntuhan yang telah terjadi.



Notasi:

H	=	tinggi lereng (m)
β	=	sudut lereng (derajat)
T_r	=	kekuatan perkuatan (kN/m)
L	=	panjang perkuatan (m)
S_v	=	spasi vertikal perkuatan (m)
q	=	beban tambahan (kN/m^2)
Δq	=	beban hidup sementara (kN)
A_m	=	percepatan gempa rencana (m/det^2)

d_w	=	kedalaman muka air tanah dalam lereng (m)
d_{wf}	=	kedalaman muka air tanah dalam tanah pondasi (m)
c_u dan c'	=	kohesi tanah total dan efektif (kN/m^2)
ϕ' dan ϕ_u	=	sudut geser dalam total dan efektif (derajat)
γ_b	=	berat isi tanah timbunan yang ditahan (kN/m^3)
γ_r	=	berat isi tanah timbunan yang diperkuat (kN/m^3)
γ	=	berat isi tanah pondasi (kN/m^3)
σ_p', C_c, C_r, c_v	=	parameter konsolidasi
A_o	=	koefisien percepatan tanah dasar (m/det^2)
g	=	percepatan gravitasi (m/det^2)

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.3. Simbol dalam Perencanaan Perkuatan Lereng

Langkah 3: Tentukan sifat-sifat teknis timbunan yang diperkuat dan timbunan yang ditahan

A. Gradasi ukuran butir dan indeks plastisitas;

B. Karakteristik pemadatan berdasarkan 95% berat isi kering maksimum γ_d berdasarkan SNI 03-1742-1989 Metode Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah (AASHTO T-99) dan ± 2% kadar air optimum.

C. Syarat tebal penghamparan;

D. Parameter kuat geser, c_u , ϕ_u atau c', ϕ';

E. Komposisi kimiawi tanah (pH).

Langkah 4: Lakukan evaluasi parameter rencana perkuatan

A. Kuat tarik ijin rencana geosintetik (T_a) dihitung dengan persamaan:

$$T_a = \frac{T_{al}}{FK} = \frac{T_{ult}}{RF.FK} \quad \text{.....[3-1]}$$

dengan pengertian

T_{al} = kuat tarik jangka panjang per satuan lebar geosintetik (kN/m)

T_{ult} = kuat tarik ultimit geosintetik (kN/m), diperoleh dari uji tarik pita lebar (ASTM D 4595 atau RSNI M-05-2005) berdasarkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (*Minimum Average Roll Value, MARV*).

RF = faktor reduksi = RF_{CR} x RF_{ID} X RF_D

FK = faktor keamanan = 1 karena faktor keamanan diperhitungkan dalam analisis stabilitas.

Karena FK=1, maka $T_a = T_{al}$ dan kuat tarik jangka panjang geosintetik dihitung dengan persamaan:

$$T_{al} = \frac{T_{ult}}{RF} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \text{ x } RF_{ID} \text{ x } RF_D} \quad \text{..... [3-2]}$$

dengan pengertian :

RF_{CR} = faktor reduksi rangkak, yaitu perbandingan kuat tarik puncak terhadap kuat batas rangkak dari uji rangkak di laboratorium. Tabel 3.1 memperlihatkan rentang nilai RF_{CR} umum untuk geosintetik berjenis polimer;

RF_{ID} = faktor reduksi kerusakan saat instalasi; Nilainya bervariasi antara 1,05 sampai dengan 3,0, tergantung pada gradasi material timbunan, teknik pemadatan, struktur produk dan berat geosintetik per berat isi. Faktor reduksi minimum adalah sebesar 1,1 untuk mempertimbangkan ketidakpastian pengujian.

RF_D = faktor reduksi ketahanan terhadap mikroorganisme, senyawa kimia, oksidasi panas dan retak tegangan (*stress cracking*). Nilainya bervariasi antara 1,1 sampai dengan 2,0. Faktor reduksi minimum adalah 1,1.

Tabel 3.1. Rentang R_{FCR} Geosintetik Jenis Polimer (Elias dkk, 2001)

Jenis polimer	RF_{CR}
Poliester	1,6 – 2,5
Polipropilena	4,0 – 5,0
Polietilena	2,6 – 5,0

Sifat-sifat kekuatan geosintetik dijelaskan secara lebih rinci pada sub bab 2.5.2

B. Tahanan cabut (*pull out*).

1) Gunakan: FK_{PO} = 1,5 untuk tanah berbutir

2) Gunakan: FK_{PO} = 2,0 untuk tanah kohesif

3) Panjang pembenaman (*embedment*) minimum, L_e = 1,0 m

Langkah 5: Cek stabilitas lereng tanpa perkuatan.

A. Lakukan evaluasi stabilitas tanpa perkuatan yang bertujuan untuk menentukan apakah dibutuhkan perkuatan, sifat kritis perencanaan (yaitu apakah faktor keamanan tanpa perkuatan lebih besar atau kurang dari 1), masalah potensi keruntuhan dalam, dan panjang zona yang perlu diperkuat;

1) Lakukan analisis stabilitas yang umum digunakan untuk menentukan faktor keamanan tanpa perkuatan (FK_U) dan momen pendorong untuk bidang-bidang keruntuhan yang dapat terjadi;

2) Gunakan metode busur lingkaran dan bidang gelincir-baji, serta pertimbangkan keruntuhan pada kaki lereng, permukaan lereng, dan keruntuhan daya dukung dalam di bawah kaki lereng. Titik terminasi *(termination points)* bidang keruntuhan harus berada di setiap zona keruntuhan potensial tersebut;

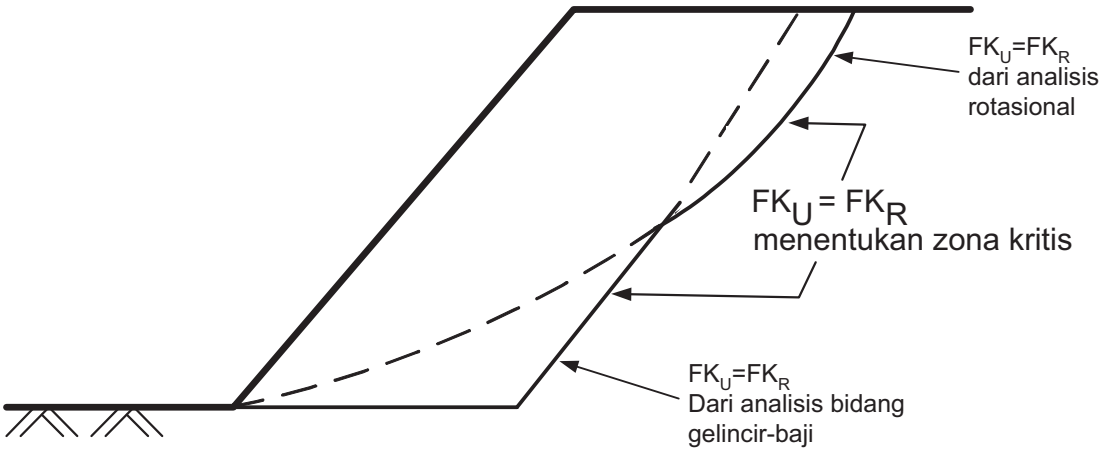
B. Tentukan luas zona kritis yang perlu diperkuat;

1) Lakukan analisis untuk seluruh bidang keruntuhan potensial dengan faktor keamanan kurang atau sama dengan target faktor keamanan lereng (atau faktor keamanan tanpa perkuatan $FK_U \leq$ target faktor keamanan FK_R).

2) Gambarkan semua bidang keruntuhan pada penampang melintang lereng;

3) Bidang keruntuhan yang memberikan faktor keamanan yang hampir sama dengan target faktor keamanan akan memberikan batas zona kritis yang perlu diperkuat (lihat Gambar 3.4).

C. Bidang keruntuhan kritis yang terjadi di bawah kaki lereng mengindikasikan terjadinya masalah keruntuhan daya dukung dalam. Untuk kasus ini, suatu analisis pondasi yang lebih rinci harus dilakukan. Geosintetik dapat digunakan untuk memperkuat dasar timbunan dan untuk membuat berm kaki sehingga stabilitas timbunan dapat meningkat. Tindakan perbaikan pondasi lainnya juga harus dipertimbangkan.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.4. Zona Kritis yang Memenuhi Target Faktor Keamanan Berdasarkan Bidang Rotasi dan Gelincir

Langkah 6: Rencanakan perkuatan untuk mendapatkan lereng yang stabil.

A. Tentukan gaya tarik maksimum perkuatan per satuan lebar perkuatan, $T_{s\text{-}max}$, dari beberapa bidang keruntuhan potensial yang berada dalam zona kritis dari Langkah 5 .

Sebagai catatan, faktor keamanan terkecil yang dihitung dari Langkah 5 biasanya tidak memberikan nilai T_s terbesar ($T_{s\text{-}max}$); bidang keruntuhan yang paling kritis adalah bidang keruntuhan yang membutuhkan nilai perkuatan T_s terbesar. Nilai T_s dihitung dengan persamaan berikut (lihat Gambar 3.5):

$$T_s = (FK_R - FK_U)\frac{M_D}{D} \quad \text{.....[3-3]}$$

dengan pengertian:

T_s = jumlah gaya tarik yang dibutuhkan per satuan lebar perkuatan di seluruh lapisan perkuatan yang memotong bidang keruntuhan (kN/m);

M_D = momen pendorong (kN.m) terhadap pusat rotasi lingkaran keruntuhan

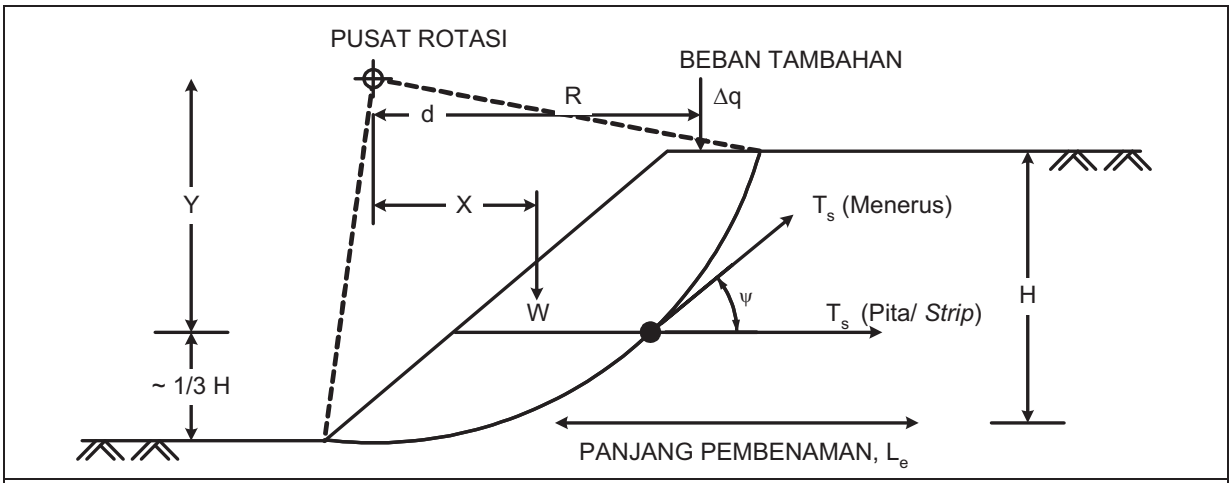
D = adalah lengan momen T_s terhadap pusat rotasi lingkaran keruntuhan.

= jari-jari lingkaran, R, untuk jenis perkuatan geosintetik lembaran menerus (diasumsikan membentuk tangen terhadap lingkaran) (m);

= jarak vertikal, Y, terhadap titik rotasi T_S untuk jenis perkuatan elemen terpisah atau jenis perkuatan pita. Asumsikan H/3 di atas lereng untuk perhitungan awal yaitu asumsikan beraksi pada suatu bidang horizontal yang memotong bidang keruntuhan pada H/3 di atas dasar lereng;

FK_R = faktor keamanan dengan perkuatan yang ditargetkan;

FK_U = faktor keamanan lereng tanpa perkuatan dari Langkah 5.



Faktor keamanan tanpa perkuatan: $FK_U = \frac{\text{Momen Penahan } (M_R)}{\text{Momen Pendorong } (M_D)}$

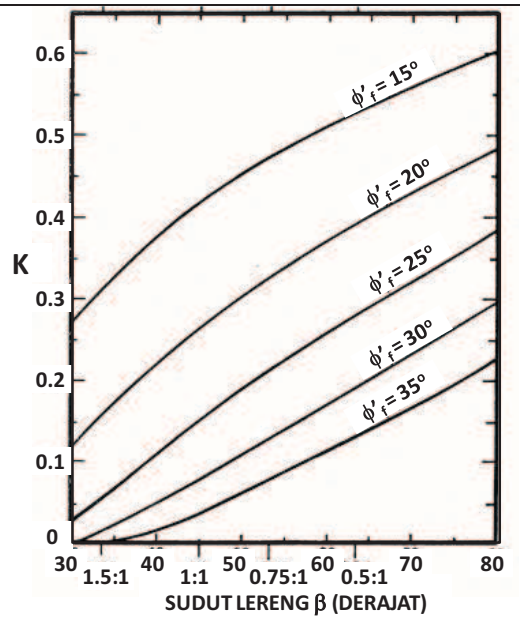
Faktor keamanan dengan perkuatan: $FK_R = FK_U + \frac{T_S\, D}{M_D}$

(Sumber: Elias dkk, 2001)

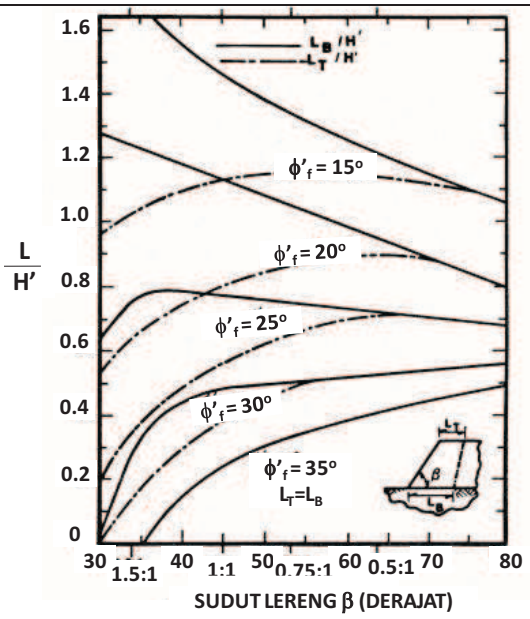
Gambar 3.5. Pendekatan Geser Rotasional untuk Menentukan Kekuatan Geosintetik yang Dibutuhkan

B. Jika Langkah 5 dan Langkah 6 menggunakan bantuan piranti lunak, maka sebagai salah satu langkah pemeriksaan bandingkan nilai $T_{S\text{-}MAX}$ dari Langkah 6A dengan nilai dari grafik Gambar 3.6. Jika perbedaannya cukup besar, cek kesesuaian penggunaan grafik tersebut terhadap batasan-batasan asumsi pada Gambar 3.6 serta periksa ulang hasil dari Langkah 5 dan Langkah 6.A.

Grafik pada Gambar 3.6 memberikan suatu metode untuk memeriksa hasil dari piranti lunak secara cepat. Grafik tersebut **tidak** dimaksudkan sebagai satu-satunya cara pemeriksaan. Kurva perencanaan lainnya seperti dari Jewell (1984 dan 1990), Werner dan Resl (1986), Ruegger (1986) dan Leshchinsky dan Boedeker (1989) juga dapat digunakan. Cara pengecekan lainnya adalah dengan menggunakan beberapa piranti lunak yang berbeda.



(a) Penentuan koefisen gaya, K



(b) Penentuan perbandingan panjang perkuatan, L/H'

<u>Prosedur penggunaan grafik:</u>

1. Tentukan koefisien gaya, K, dari grafik (a) di atas dengan mengeplot sudut lereng β dengan ϕ'_f, dengan pengertian: $\phi'_f = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \phi_r}{FK_R}\right)$ dan ϕ_r = sudut geser timbunan yang diperkuat
2. Tentukan gaya maksimum perkuatan ($T_{s\text{-}MAX}$) dengan persamaan berikut: $T_{S\text{-}MAX} = 0.5\,K\,\gamma_r\,(H')^2$ dengan pengertian: H'= H + q/γ_r , q = beban merata, γ_r = berat isi timbunan yang diperkuat
3. Tentukan panjang perkuatan yang dibutuhkan pada lereng bagian atas (L_T) dan bawah (L_B) dari grafik (b) di atas.

Batasan asumsi:

- Perkuatan dapat diperpanjang (*extensible reinforcement*).
- Lereng dibuat dari tanah tak berkohesi dan seragam, c=0.
- Tidak ada tekanan pori dalam lereng.
- Tanah pondasi datar.
- Tidak ada gaya gempa.
- Beban merata dan tidak lebih dari 0,2 γ H.
- Sudut geser antara tanah dan perkuatan geosintetik relatif tinggi, $\phi_{sg} = 0{,}9\ \phi_r$ (mungkin tidak sesuai untuk beberapa produk geotekstil).

Gambar 3.6. Grafik untuk Menentukan Besarnya Kekuatan Perkuatan (Schmertmann, dkk dalam Elias dkk, 2001)

C. Tentukan distribusi perkuatan:

1) Untuk lereng rendah dengan tinggi H ≤ 6,0 meter, asumsikan perkuatan terdistribusi merata dan gunakan $T_{S\text{-}MAX}$ untuk menentukan spasi atau kuat tarik yang dibutuhkan dari Langkah 6.D;

2) Untuk lereng dengan tinggi H > 6,0 meter, bagi lereng ke dalam dua zona (atas dan bawah) atau tiga zona (atas, tengah, dan bawah) dengan ketinggian yang sama dan gunakan $T_{S\text{-}MAX}$ terfaktor di tiap zona untuk menentukan spasi atau kuat tarik yang dibutuhkan, lihat Gambar 3.7. Kuat tarik yang dibutuhkan untuk tiap zona dihitung melalui persamaan berikut:

a. Untuk dua zona:

$$T_{bawah} = \tfrac{3}{4}\, T_{S\text{-}MAX} \quad \text{.....[3-4]}$$

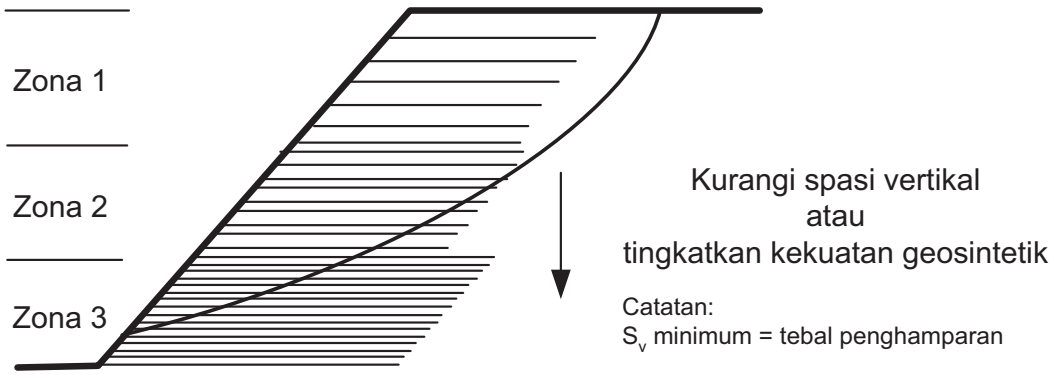
$$T_{atas} = \tfrac{1}{4}\, T_{S\text{-}MAX} \quad \text{.....[3-5]}$$

b. Untuk tiga zona:

$$T_{bawah} = \tfrac{1}{2}\, T_{S\text{-}MAX} \quad \text{.....[3-6]}$$

$$T_{tengah} = \tfrac{1}{3}\, T_{S\text{-}MAX} \quad \text{.....[3-7]}$$

$$T_{atas} = {}^{1}/_{6}\, T_{S\text{-}MAX} \quad \text{.....[3-8]}$$



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.7. Hubungan Antara Spasi dan Kekuatan Geosintetik

D. Tentukan spasi vertikal perkuatan S_V atau kuat tarik rencana maksimum T_{max} yang dibutuhkan pada tiap lapisan perkuatan.

1) Untuk setiap zona, hitung kuat tarik rencana, T_{max}, untuk setiap lapis perkuatan berdasarkan asumsi spasi vertikal S_v. Akan tetapi, jika kuat tarik ijin geosintetik diketahui, hitung spasi vertikal minimum dan jumlah lapis perkuatan, N, yang dibutuhkan untuk setiap zona dengan persamaan berikut:

$$T_{max} = \frac{T_{zona} S_v}{H_{zona}} = \frac{T_{zona}}{N} \leq T_{al}\ R_c \quad \text{.....[3-9]}$$

dengan pengertian:

R_c = $\frac{b}{S_h}$ = rasio liputan perkuatan, dilihat dari tampak atas.
R_c=1 untuk perkuatan lembaran menerus.

b = lebar kotor dari pita, lembaran atau grid (m)

S_h = spasi horizontal dari as ke as antara pita-pita, lembaran-lembaran atau grid-grid (m)

S_V = spasi vertikal perkuatan dalam satuan meter, yang merupakan penjumlahan tebal lapisan yang dipadatkan (m).

T_{zona} = kuat tarik maksimum perkuatan di masing-masing zona (kN/m). Untuk lereng rendah ($H \leq 6$ m), $T_{zona} = T_{S\text{-}MAX.}$

H_{zona} = tinggi zona. Untuk lereng tinggi ($H > 6$ m), tinggi zona dinyatakan dengan T_{atas}, T_{tengah} dan T_{bawah}.

N = jumlah lapisan perkuatan.

2) Gunakan perkuatan sekunder di bagian tengah sepanjang 1,2 m – 2,0 m untuk menjaga spasi vertikal maksimum sebesar 0,4 m untuk permukaan yang stabil dan kualitas pemadatan yang baik.

a. Untuk lereng dengan kemiringan kurang dari 45° (1Vertikal : 1Horizontal) dan spasi perkuatan yang lebih rapat (tapi tidak lebih dari 0,4 m) biasanya tidak membutuhkan pembungkusan muka lereng dengan geosintetik, lihat Gambar 3.8. Pembungkusan muka lereng dibutuhkan untuk menghindari erosi permukaan. Spasi vertikal lainnya dapat digunakan untuk menghindari erosi permukaan tetapi analisis stabilitas permukaan lereng harus dilakukan diantaranya dengan persamaan:

$$FK=\frac{c'\,H+(\gamma_g-\gamma_w)H.z.\cos^2\beta.\tan\varphi' + F_g(\cos\beta.\sin\beta+\sin^2\beta.\tan\varphi')}{\gamma_g.H.z.\cos\beta.\sin\beta} \quad \text{.... [3-10]}$$

dengan pengertian:

c' = kohesi efektif (kN/m^2)

ϕ' = sudut geser efektif (derajat)

γ_g = berat isi tanah jenuh (kN/m^3)

γ_s = berat isi air (kN/m^3)

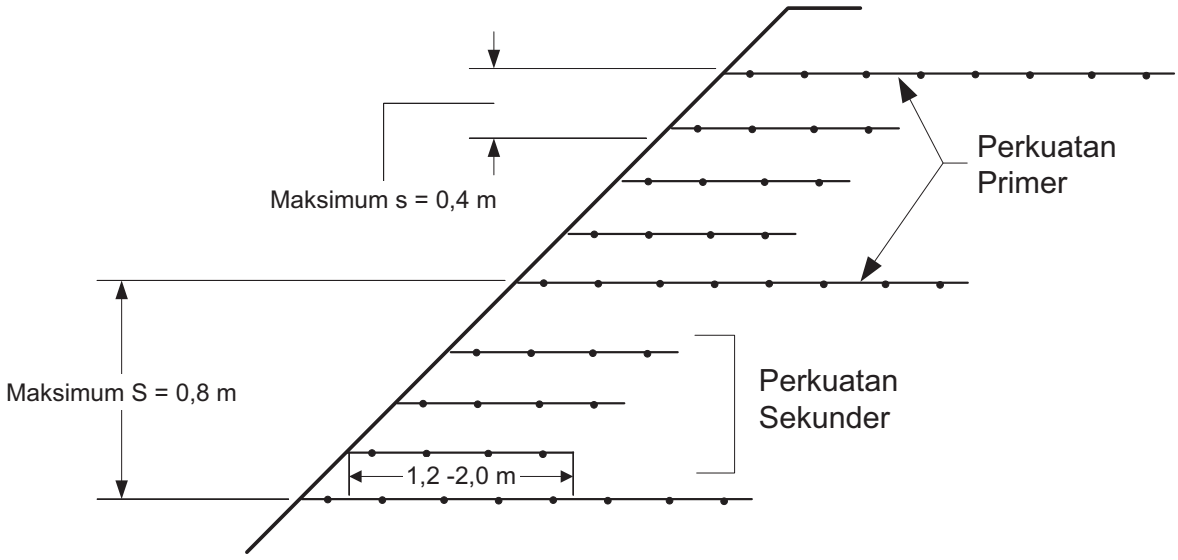
z = kedalaman vertikal ke bidang runtuh yang didefinisikan dengan kedalaman jenuh (m)

H = tinggi lereng (m)

β = sudut lereng (derajat)

F_g = jumlah gaya penahan geosintetik (kN/m)

b. Perkuatan antara ditempatkan dalam lapisan-lapisan menerus dan tidak perlu mempunyai kekuatan yang sama dengan perkuatan utama, akan tetapi dalam semua kasus, seluruh perkuatan harus cukup kuat untuk dapat bertahan selama instalasi.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.8. Syarat Spasi dan Panjang Pembenaman untuk Perkuatan Lereng yang Memperlihatkan Perkuatan Primer dan Perkuatan Sekunder

E. Pada struktur yang kritis atau kompleks, lakukan penghitungan ulang T_s untuk potensi keruntuhan di atas setiap lapisan perkuatan utama dengan persamaan [3.3] dari LANGKAH 6A. Hal ini dilakukan untuk meyakinkan bahwa perkiraan distribusi gaya perkuatan pada persamaan [3.4] sampai [3.9] dapat memenuhi;

F. Tentukan panjang perkuatan yang dibutuhkan:

1) Panjang tertanam L_e tiap lapisan perkuatan melebihi bidang keruntuhan kritis (busur lingkaran yang ditemukan untuk $T_{s\text{-}max}$) dihitung dengan persamaan:

$$L_e = \frac{T_{max}.FK_{PO}}{F^*.\alpha.\sigma'_v.C} \quad \text{.....[3-11]}$$

dengan pengertian:

L_e = panjang tertanam pada zona yang ditahan di belakang bidang keruntuhan (m);

T_{max} = kuat tarik rencana (kN/m);

FK_{PO} = faktor keamanan cabut (*pull out*);

F* = faktor tahanan cabut;

α = adalah faktor koreksi skala;

C = keliling efektif perkuatan, untuk geogrid dan geotekstil nilai C = 2;

σ'_v = tegangan vertikal efektif antara tanah dengan geosintetik (kN/m^2).

Nilai F* dan α diberikan pada Tabel 3.2 dan dijelaskan lebih rinci pada sub bab 2.5.2

Tabel 3.2. Faktor tahanan cabut (Elias dkk, 2001)

Tipe Perkuatan	Nilai F*	Nilai α
Geogrid	2/3 tan ϕ	0,8
Geotekstil	2/3 tan ϕ	0,6

2) Nilai minimum L_e adalah 1,0 meter.

   a. Untuk tanah kohesif, periksa L_e pada kondisi cabut jangka panjang maupun jangka pendek;

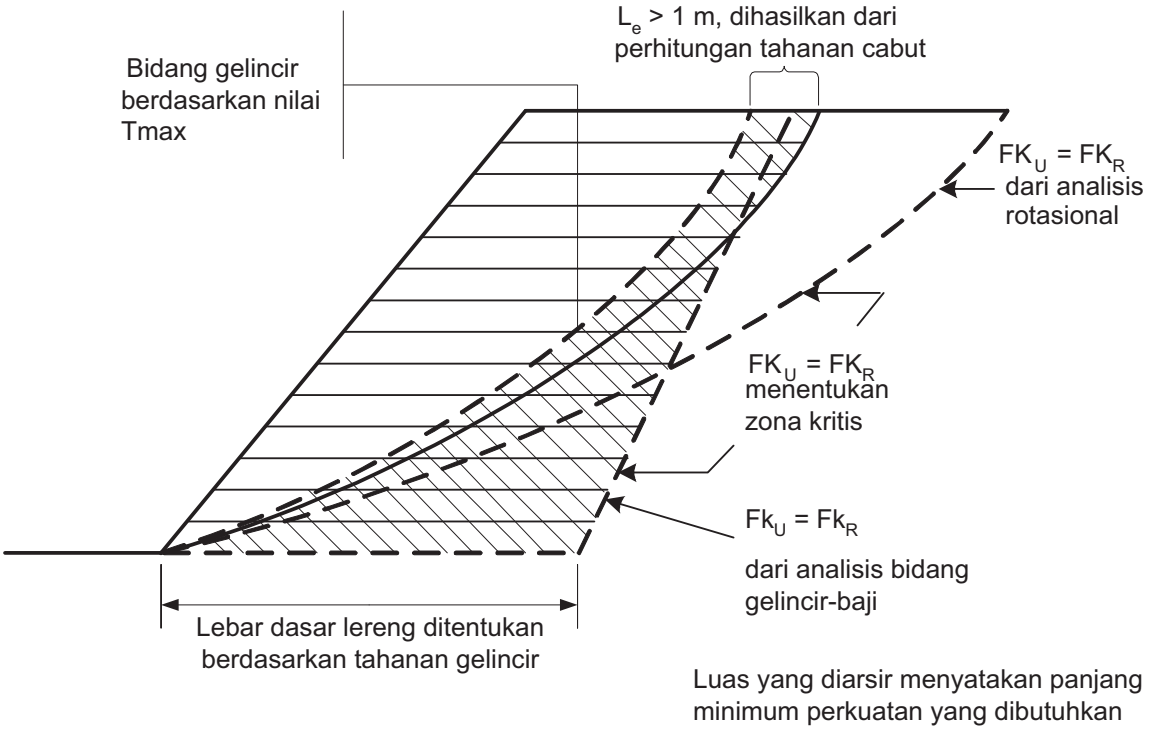
   b. Untuk perencanaan jangka panjang, gunakan ϕ'_r dengan c'_r = 0, sedangkan untuk perencanaan jangka pendek, gunakan ϕ_r dengan c_r = 0 dari pengujian triaksial terkonsolidasi tak terdrainase (*undrained*) atau lakukan uji cabut;

3) Plot panjang perkuatan yang diperoleh dari evaluasi tahanan cabut pada potongan melintang lereng dengan perkiraan batas krisis yang ditentukan dari LANGKAH 5 (lihat Gambar 3.9);

   a. Panjang perkuatan yang dibutuhkan untuk stabilitas geser pada dasar lereng umumnya akan menentukan panjang perkuatan bagian bawah.

   b. Panjang perkuatan lapisan bawah harus diperpanjang sampai pada batas zona kritis. Perkuatan yang lebih panjang dapat dibutuhkan untuk mengatasi masalah keruntuhan dalam (lihat LANGKAH 7).

c. Perkuatan bagian atas mungkin tidak perlu diperpanjang sampai batas zona kritis dengan syarat perkuatan di bagian yang lebih bawah dapat memenuhi target faktor keamanan FK_R untuk seluruh bidang keruntuhan lingkaran dalam zona kritis.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.9. Syarat Spasi dan Panjang Pembenaman untuk Perkuatan Lereng yang Memperlihatkan Perkuatan Primer dan Perkuatan Sekunder

4) Periksa bahwa jumlah gaya-gaya perkuatan yang memotong tiap bidang keruntuhan lebih besar daripada T_s (dari LANGKAH 6.A)

   a. Perkuatan yang dihitung hanyalah perkuatan dengan panjang yang lebih dari 1 m di luar bidang keruntuhan untuk mempertimbangkan tahanan cabut.

b. Jika gaya perkuatan tidak memenuhi, tambah panjang perkuatan yang tidak memotong bidang keruntuhan atau tingkatkan kekuatan perkuatan di bagian yang lebih bawah.

5) Sederhanakan skema timbunan dengan memperpanjang beberapa lapisan perkuatan untuk menghasilkan dua atau tiga bagian perkuatan dengan panjang yang sama untuk mempermudah konstruksi dan pemeriksaan.

6) Periksa panjang perkuatan yang diperoleh dengan menggunakan Gambar 3.6. Catatan: pada Grafik b, besarnya L_e sudah termasuk dalam panjang total L_T (panjang atas) dan L_B (panjang bawah).

G. Periksa panjang rencana dari perencanaan yang kompleks:

1) Ketika memeriksa suatu perencanaan yang mempunyai beberapa zona dengan panjang perkuatan yang berbeda, kekuatan di zona bagian bawah dapat dibuat berlebih untuk memperpendek perkuatan di bagian atas.

2) Dalam memeriksa kebutuhan panjang perkuatan pada kasus tersebut di atas, stabilitas cabut perkuatan pada setiap zona harus diperiksa dengan teliti untuk bidang-bidang keruntuhan kritis yang keluar di dasar setiap zona.

Langkah 7: Cek stabilitas eksternal

A. Tahanan gelincir (lihat Gambar 3.10)

Periksa lebar massa tanah yang diperkuat pada setiap tingkat untuk dapat menahan gelincir di sepanjang perkuatan. Jenis keruntuhan baji yang didefinisikan sebagai batas perkuatan (panjang perkuatan dari kaki) dari LANGKAH 5 harus diperiksa agar perkuatan tersebut cukup untuk menahan geser dengan persamaan berikut:

Gaya penahan = FK x Gaya gelincir

$$\left(W + P_a \sin \phi_b\right) \tan \phi_{min} = Fk \; P_a \cos \phi_b \quad \text{.....[3-12]}$$

dengan:

$W = ½ L^2 \gamma_r (\tan \beta)$ untuk $L \leq H$.....[3-13]

$$W = \left[LH - \frac{H^2}{2 \tan \beta} \right] \gamma_r \quad \text{untuk } L > H \text{ .....[3-14]}$$

$Pa = ½ \gamma_b H^2 K_a$ .....[3-15]

dengan pengertian:

L = panjang perkuatan terbawah di tiap lapisan, dimana terjadi perubahan panjang (m);

H = tinggi lereng (m);

FK = faktor keamanan terhadap gelincir ($\geq 1{,}3$);

P_a = tekanan tanah aktif (kN);

K_a = $\tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$ = koefisien tekanan tanah aktif

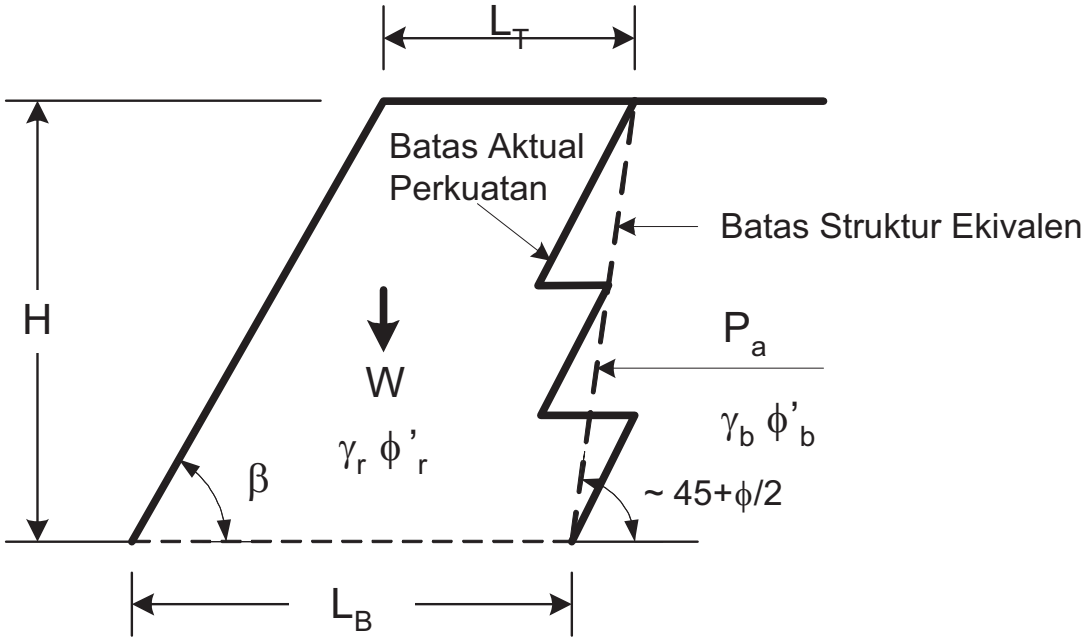
ϕ_{min} = sudut geser minimum yang dipilih dari sudut geser antara tanah yang diperkuat dan perkuatan atau sudut geser tanah pondasi (derajat);

β = sudut lereng (derajat);

γ_r = berat isi tanah timbunan yang diperkuat (kN/m^3);

γ_b = berat isi tanah timbunan yang ditahan (kN/m^3);

ϕ_b = sudut geser tanah timbunan yang ditahan (derajat). Jika filter geosintetik atau penyalir geokomposit dipasang menerus di lereng belakang, maka ϕ_b sama dengan sudut geser antarmuka antara geosintetik dan timbunan yang ditahan.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

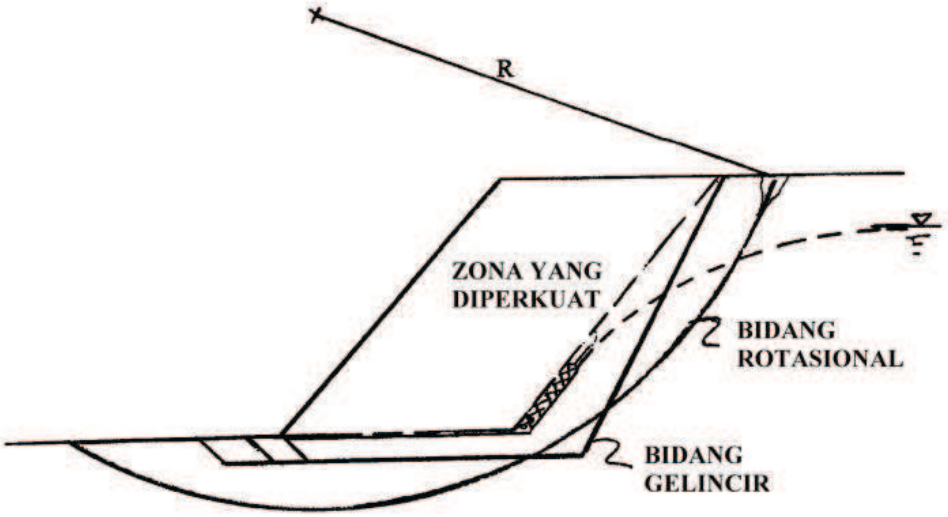
Gambar 3.10. Analisis Stabilitas Gelincir

B. Stabilitas keruntuhan dalam global (Gambar 3.11).

Evaluasi keruntuhan global di bawah massa tanah yang diperkuat untuk menghasilkan:

$$FK = \frac{M_D}{M_R} \geq 1{,}3 \qquad \text{.....[3-16]}$$

Analisis yang dilakukan dalam LANGKAH 5 dapat memberikan indikasi jenis keruntuhan ini. Akan tetapi, lakukan metode analisis stabilitas lereng klasik seperti *Simplified Bishop, Morgensten & Price, Spencer*, atau metode lainnya.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.11. Analisis Stabilitas Global

C. Keruntuhan daya dukung lokal pada kaki timbunan (peremasan/*squeezing* lateral).

Jika tebal lapisan tanah lunak (D_s) di bawah timbunan kurang dari panjang lereng b seperti pada Gambar 3.12, maka faktor keamanan terhadap keruntuhan akibat peremasan dihitung dengan persamaan berikut)

$$FK_{Peremasan} = \frac{2\ c_u}{\gamma D_s \tan\beta} + \frac{4{,}14\ c_u}{H\gamma} \geq 1{,}3 \quad \text{.....[3-17]}$$

dengan pengertian :

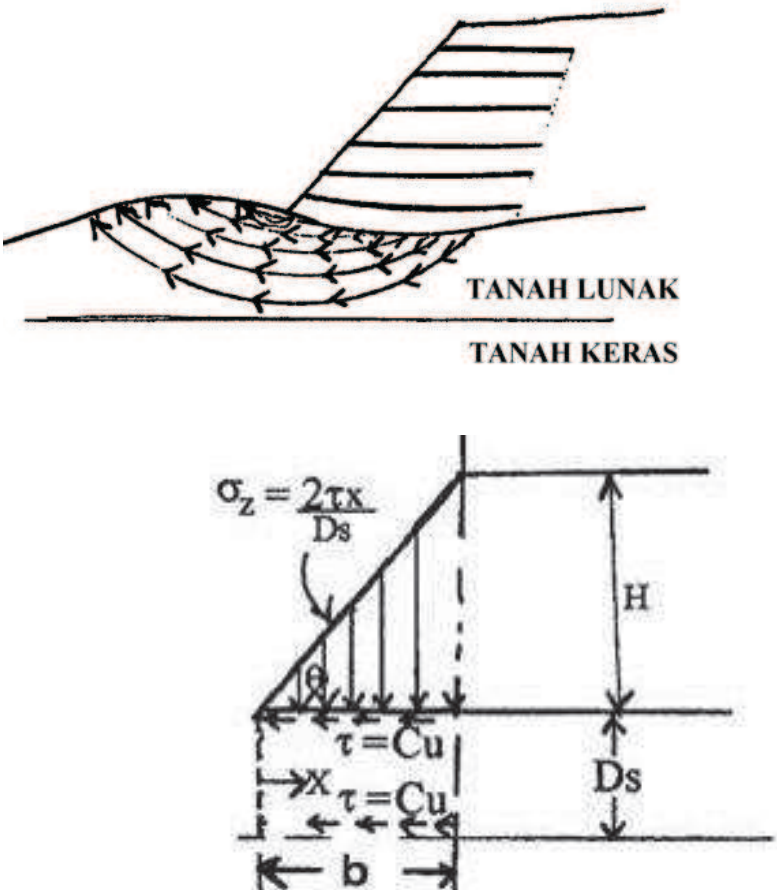
c_u = kuat geser tak terdrainase/*undrained* (kN/m^2)

γ = berat isi tanah timbunan (kN/m^3)

D_s = tebal tanah lunak di bawah timbunan (m)

β = sudut kemiringan lereng (derajat)

H = tinggi timbunan (m)



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.12. Keruntuhan Daya Dukung Lokal (Pergerakan Lateral)

D. Penurunan tanah dasar;

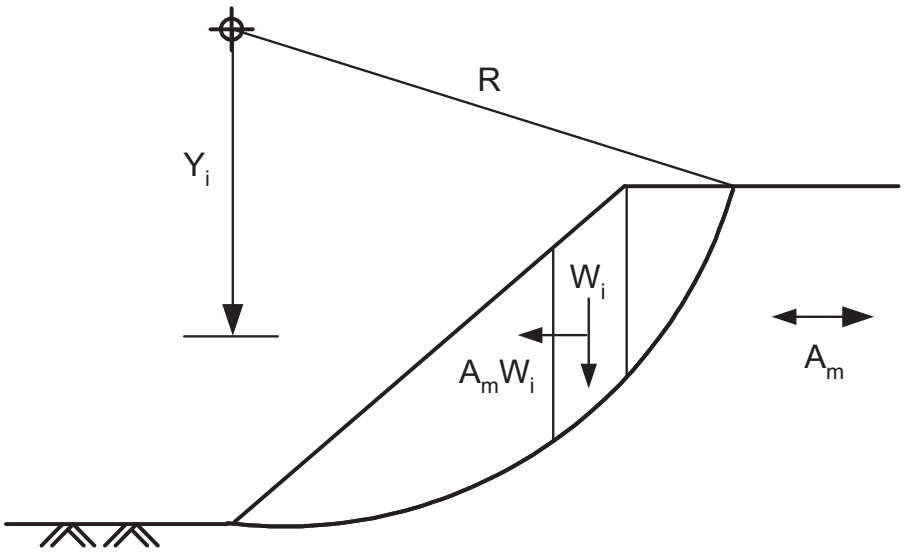
Tentukan besar penurunan dan kecepatan penurunan diferensial tanah dasar dengan menggunakan prosedur perhitungan penurunan yang biasa digunakan. Jika hasil perhitungan penurunan melebihi persyaratan proyek, maka tanah pondasi harus diperbaiki.

Langkah 8: Stabilitas gempa (stabilitas dinamik).

Lakukan analisis pseudo-statik dengan menggunakan koefisen gempa A, yang diperoleh dari peraturan pembangunan lokal dan percepatan gempa. Perhitungan sesuai SNI 03-2833-1992 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk jembatan.

FK dinamik ≥ 1,1 .....[3-18]

Stabilitas gempa ditentukan melalui penambahan gaya vertikal dan atau horizontal ke titik tengah tiap irisan hingga menghasilkan persamaan kesetimbangan momen (lihat Gambar 3.13).



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3.13. Analisis Stabilitas Gempa

Langkah 9: Evaluasi persyaratan pengendalian air bawah permukaan dan air permukaan

A. Pengendalian air bawah permukaan.

1) Aliran (*seepage*) air bawah permukaan yang tidak terkendali dapat menurunkan stabilitas lereng yang akhirnya dapat mengakibatkan keruntuhan lereng. Gaya hidrostatis di belakang massa tanah yang diperkuat dan aliran air yang tak terkendali ke dalam massa tanah yang diperkuat akan menurunkan stabilitas. Aliran air melalui massa tanah akan mengurangi kapasitas cabut geosintetik dan mengakibatkan erosi permukaan lereng. Pertimbangkan sumber air dan permeabilitas tanah asli dan tanah timbunan yang dilewati aliran air ketika merencanakan drainase bawah permukaan.

2) Perencanaan drainase bawah permukaan harus mempertimbangkan kecepatan aliran, filtrasi, penempatan outlet serta detail outlet. Perencanaan outlet harus memperhatikan persyaratan kinerja jangka panjang dan pemeliharaan.

3) Spasi lateral outlet ditentukan oleh geometri di lapangan, perkiraan kecepatan aliran dan standar yang ditentukan. Perencanaan outlet harus mempertimbangkan kinerja jangka panjang dan persyaratan pemeliharaan.

4) Sistem drainase geokomposit atau lapisan berbutir dan kanal drainase (*trench*) dapat juga digunakan.

5) Drainase geokomposit harus direncanakan dengan mempertimbangkan:

   c. Filtrasi/penyumbatan geotekstil;

   d. Kuat tekan jangka panjang dari inti polimerik;

   e. Pengurangan kapasitas pengaliran akibat intrusi geotekstil kedalam inti;

   f. Kapasitas aliran masuk/keluar jangka panjang.

   g. Tekanan maksimum yang ditahan oleh inti dalam suatu pengujian adalah minimal 10.000 jam.

   h. Tekanan hancur pada suatu inti, didefinisikan dengan uji beban seketika, dibagi faktor keamanan sebesar 5.

      Sebagai catatan, Tekanan hancur dapat didefinisikan untuk beberapa jenis inti. Untuk kasus ini, kesesuaian inti harus didasarkan pada beban maksimum yang menghasilkan suatu tebal inti residual yang cukup untuk memenuhi syarat pengaliran setelah 10.000 jam, atau beban maksimum yang menghasilkan suatu tebal inti residual yang cukup untuk memenuhi syarat pengaliran dengan uji beban seketika dibagi faktor keamanan 5.

6) Analisis stabilitas harus mempertimbangkan kuat geser antarmuka sepanjang drainase geokomposit. Antarmuka geokomposit dan tanah kemungkinan besar akan mempunyai suatu nilai friksi yang lebih rendah dibandingkan tanah. Oleh karena itu, bidang keruntuhan potensial dapat terjadi sepanjang bidang antarmuka tersebut.

7) Perkuatan geosintetik (lapisan primer dan sekunder) harus lebih lulus air daripada bahan timbunan yang diperkuat untuk menghindari meningkatnya tekanan hidrolis di atas lapisan geosintetik selama proses perembesan air (*precipitation*).

8) Perhatian khusus pada perencanaan dan konstruksi drainase bawah permukaan sangat direkomendasikan untuk suatu kondisi struktur dimana drainase sangat berperan dalam mempertahankan kestabilan lereng.

B. Aliran air permukaan.

1) Aliran air permukaan harus dikumpulkan di atas lereng yang diperkuat dan dialirkan ke bawah dasar lereng.

2) Pembungkusan muka lereng dan/atau lapisan perkuatan antara (sekunder) dapat dibutuhkan pada permukaan lereng yang diperkuat untuk mencegah pelunakan lokal. Lapisan perkuatan sekunder membantu mencapai pemadatan bagian muka sehingga meningkatkan kuat geser tanah dan ketahanan terhadap erosi. Lapisan tersebut juga berfungsi sebagai perkuatan terhadap jenis keruntuhan dangkal atau pelunakan. Tabel 3.3 memberikan acuan untuk penutupan permukaan.

Tabel 3.3. Rekomendasi Penutupan Muka Lereng yang Diperkuat

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Sudut muka lereng dan jenis tanah	Geosintetik tidak dilipat di muka lereng		Geosintetik dilipat di muka lereng	
	Vegetasi Permukaan[1]	Penutup Keras[2]	Vegetasi Permukaan[1]	Penutup Keras[2]
> 50° (> ~0,9H:1V) ▪ Semua Jenis Tanah	Tidak direkomendasikan	▪ Bronjong	Rumput selimut erosi permanen dengan benih	▪ Batu dalam keranjang kawat ▪ Shotcrete
35° – 50° (~1,4H:1V – 0,9H:1V) ▪ Pasir Bersih (SP)[3] ▪ Kerikil Bulat (GP)	Tidak direkomendasikan	▪ Bronjong ▪ Tanah-semen	Rumput selimut erosi permanen dengan benih	▪ Batu dalam keranjang kawat ▪ Shotcrete
35° – 50° (~1,4H:1V – 0,9H:1V) ▪ Lanau (ML) ▪ Lanau Kepasiran (ML)	▪ Perkuatan bio ▪ Drainase geokomposit[4]	▪ Bronjong ▪ Tanah-semen ▪ Penutup muka batu	Rumput selimut erosi permanen dengan benih	▪ Batu dalam keranjang kawat ▪ Shotcrete
35° – 50° (~1,4H:1V – 0,9H:1V) ▪ Pasir Kelanauan (SM) ▪ Pasir Kelempungan (SC) ▪ Pasir & Kerikil Bergradasi Baik (SW & GW)	▪ Selimut erosi sementara dengan benih atau rumput ▪ Tikar (*mat*) erosi permanen dengan benih atau rumput	Tidak diperlukan	Pembungkusan geosintetik tidak dibutuhkan	Pembungkusan geosintetik tidak dibutuhkan
25° – 35° (~ 2H:1V to 1.4H:1V) ▪ Semua Jenis Tanah	▪ Selimut erosi sementara dengan benih atau rumput ▪ Tikar (*mat*) erosi permanen dengan benih atau rumput	Tidak diperlukan	Pembungkusan geosintetik tidak dibutuhkan	Pembungkusan geosintetik tidak dibutuhkan

Catatan:

1. Spasi vertikal perkuatan (primer/sekunder) tidak lebih dari 400 mm dengan perkuatan primer berjarak tidak lebih dari 800 mm jika perkuatan sekunder digunakan.
2. Spasi vertikal perkuatan primer tidak lebih dari 800 mm.
3. *Unified Soil Classification* (SNI 03-6371-2000 : Tata Cara Pengklasifikasian Tanah dengan Cara Unifikasi Tanah)
4. Lapisan-lapisan geosintetik atau drainase horizontal alami untuk memotong dan mengalirkan tanah yang jenuh pada muka lereng.

3) Pilih sistem penutup muka jangka panjang untuk mencegah atau mengurangi erosi akibat hujan dan aliran permukaan pada muka lereng.

4) Hitung tegangan geser traksi akibat aliran air pada muka lereng yang diperkuat dengan persamaan:

$$\lambda = d \cdot \gamma_w \cdot s \quad \text{.....[3-19]}$$

dengan pengertian :

λ = tegangan geser traksi (kN/m^2)
d = kedalaman aliran air (m)
γ_w = berat isi air (kN/m^3)
s = perbandingan vertikal terhadap horizontal lereng (m/m)

- Jika λ < 100 Pa, pertimbangkan vegetasi dengan tikar (*mat*) pengontrol erosi sementara atau permanen.
- Jika λ > 100 Pa, pertimbangkan vegetasi dengan tikar (*mat*) pengontrol erosi permanen atau sistem perkuatan lain, contohnya pasangan batu (*riprap*), unit modular prefabrikasi, beton prefabrikasi, dan sebagainya.

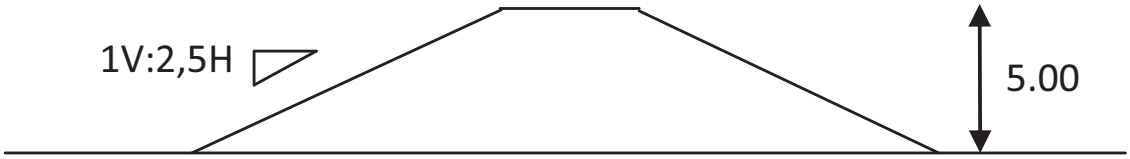
5) Pilih vegetasi berdasarkan pertimbangan holtikultura lokal dan agroekonomi serta pemeliharaan.

6) Pilih tikar erosi sintetik (permanen) yang telah distabilisasi terhadap sinar ultraviolet dan tahan terhadap zat kimia dan bakteri yang timbul dari tanah.

Selimut dan tikar pengontrol erosi tersedia dalam berbagai jenis, harga, dan yang terpenting sesuai dengan kondisi proyek. **Pelindung lereng tidak boleh ditentukan berdasarkan pertimbangan kontraktor atau penyedia barang**.

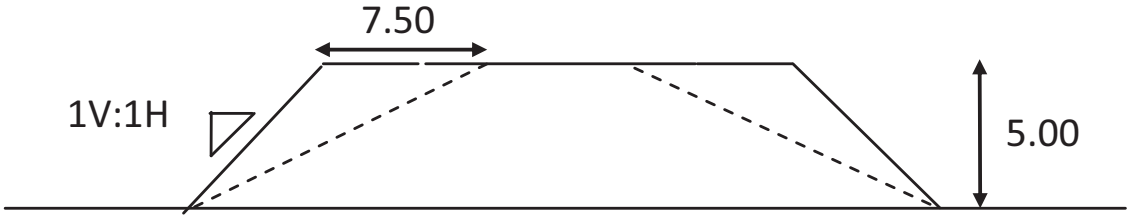
Contoh soal untuk sub bab 3.2:

Sebuah timbunan badan jalan dengan tinggi 5 m dan kemiringan lereng 1V : 2,5H, akan ditambah satu jalur. Untuk jalur tambahan tersebut, jalan perlu diperlebar sekurang-kurangnya 6 m serta perlu dilakukan peningkatan bahu jalan. Hitung jumlah perkuatan geosintetik yang dibutuhkan, kuat tarik total dan tiap lapisan. Hitung pula faktor keamanan global lereng sebelum dan setelah diperkuat.



Jawaban:

Buat konstruksi lereng yang diperkuat geoteksil, dimulai dari kaki lereng yang ada. Kemiringan lereng yang diperkuat adalah 1V:1H. Opsi ini akan membutuhkan pelebaran sebesar 7,5 m untuk tiap sisi lereng.



Langkah-langkah perencanaan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Geometri dan Persyaratan Pembebanan

Lereng yang akan diperkuat memiliki ketinggian 5 m dengan sudut kemiringan lereng (β) sebesar 45°. Beban eksternal yang bekerja di atasnya diperkirakan sebesar 10 kN/m^2 ditambah dengan peninggian elevasi badan jalan sebesar 2%.

Langkah 2: Kriteria Perencanaan

Kriteria perencanaan yang direkomendasikan dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (Fk) berikut ini.

a) Stabilitas eksternal
   1) Stabilitas gelincir : Fk_{min} = 1,3
   2) Stabilitas lereng global : Fk_{min} = 1,3
   3) Daya dukung : Fk_{min} = 1,3

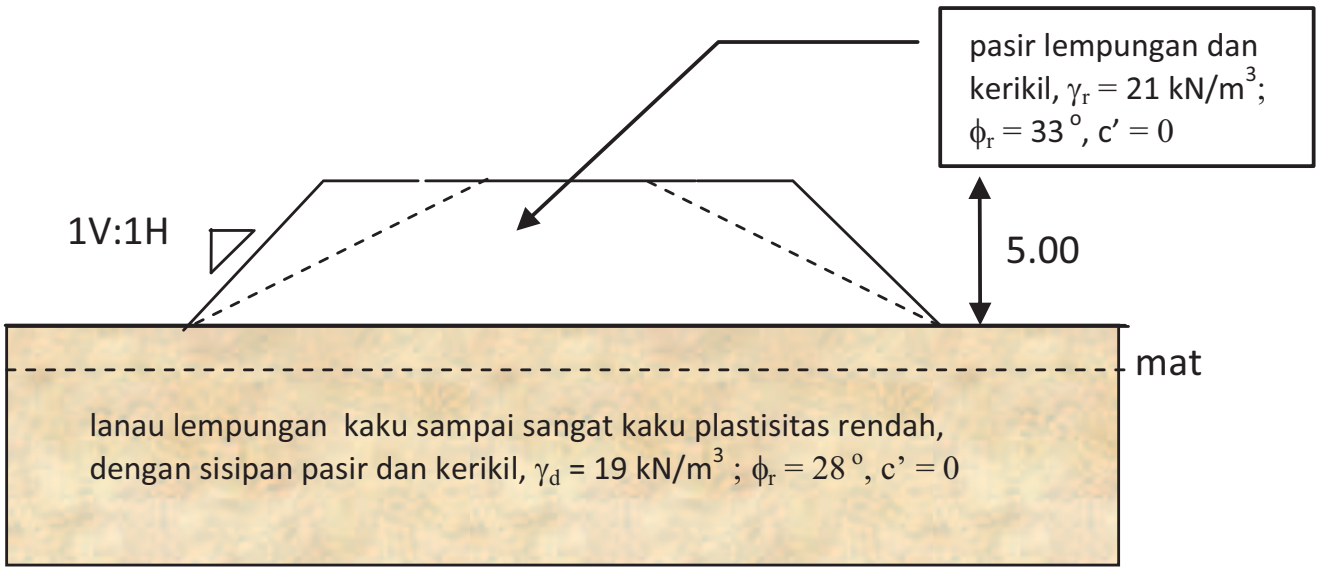
b) Stabilitas terhadap cabut : Fk_{min} = 1,5

c) Stabilitas internal : Fk_{min} = 1,3

Langkah 3: Parameter tanah pondasi dan timbunan

a) Tanah Pondasi
   1) Berdasarkan hasil pemboran tanah pada konstruksi timbunan lama, diketahui bahwa tanah pondasi terdiri dari lanau lempungan kaku sampai sangat kaku plastisitas rendah, dengan sisipan pasir dan kerikil. Dengan bertambahnya kedalaman, kepadatan dan kekuatan tanah cenderung meningkat.
   2) γ_d = 19 kN/m^3 ; ϕ_r = 28 ^{o}, c' = 0
   3) Muka air dari pengeboran (d_w) adalah 2 m di bawah tanah asli.

b) Tanah Timbunan
   1) Tanah timbunan yang digunakan adalah pasir lempungan dan kerikil.
   2) γ_r = 21 kN/m^3 ; ϕ_r = 33 ^{o}, c' = 0



Langkah 4: Ketentuan parameter perkuatan lereng

Batasan-batasan di bawah ini digunakan dalam menentukan parameter geosintetik:

a) $T_{al} = T_{ult} / RF$

b) $FK_{PO} = 1.5$

Langkah 5: Cek stabilitas lereng tanpa perkuatan

Analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan dilakukan dengan perangkat lunak STABL sebagai alat bantu. Hitung stabilitas lereng tanpa perkuatan (FK_U) dengan menggunakan zona kritis yang ditentukan dari target faktor keamanan yang akan dicapai (FK_{SR}). STABL akan menghitung faktor keamanan dengan menggunakan Metode Bishop untuk bidang keruntuhan berbentuk lingkaran. Untuk lebih jelasnya, lihat Gambar 2. Berdasarkan analisis, lereng yang direncanakan tanpa perkuatan tidak memenuhi persyaratan faktor keamanan global (FK= 1,3).

Langkah 6: Hitung T_s untuk target faktor keamanan yang akan dicapai (FK_{SR})

Dari hasil analisis dengan menggunakan piranti lunak, akan diperoleh nilai Fk_U, M_D dan R untuk tiap bidang gelincir yang berada di dalam zona kritis (Gambar 2). Bidang gelincir terkritis yang diwakili oleh faktor keamanan terkecil memiliki nilai-nilai sebagai berikut:

1) Faktor keamanan tanpa perkuatan, FK_U = 0,89
2) Momen penahan, M_D = 1575 kN/m
3) Jari-jari dihitung dari pusat bidang gelincir, R = 13m

Dengan memasukkan nilai-nilai di atas ke dalam persamaan di bawah ini, besarnya gaya perkuatan maksimum, T_s dapat dihitung:

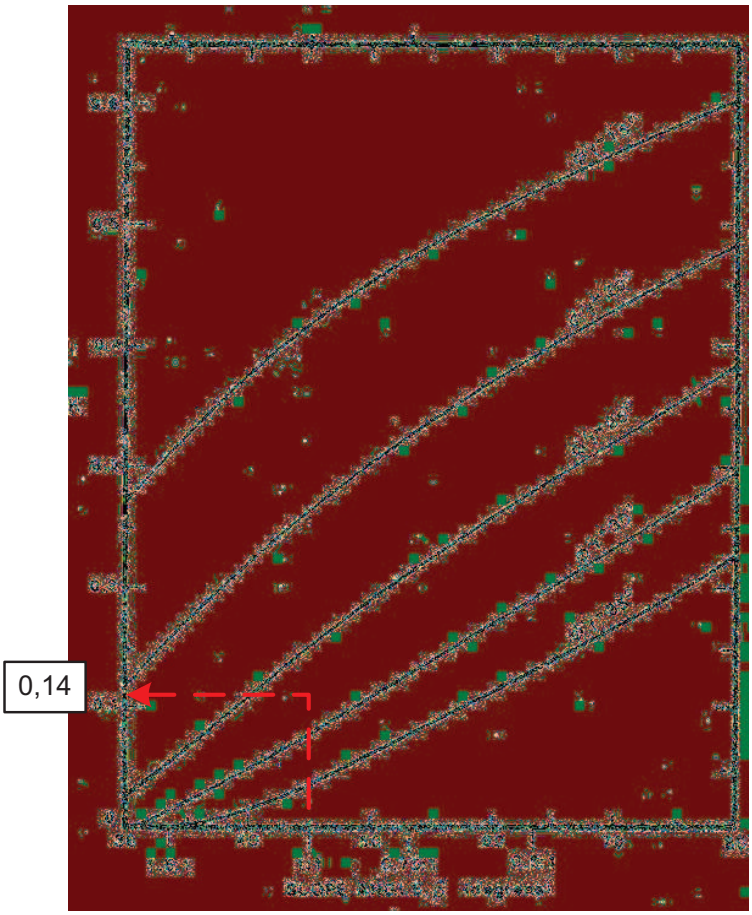
$$T_{S-MAX} = (1.3 - Fk_U)\frac{M_D}{R}$$

Gaya perkuatan maksimum ($T_{S\text{-}MAX}$) pada kondisi bidang gelincir terkritis dari persamaan di atas adalah 49,7 kN.

$T_{S\text{-}MAX}$ dapat dicek dengan menggunakan grafik Schmertmann pada Gambar 1 berikut.

Dengan data sudut lereng $\beta = 45°$, Fk_R = 1,3, dan ϕ'_r = 33 °, maka dapat dihitung besarnya $\phi'_f = \tan^{-1}(\tan \phi'_r / Fk_R) = \tan^{-1}(\tan 33 / 1{,}3) = 26.5°$

sehingga dari Gambar 1 diperoleh koefisien gaya, K = 0.14.



Gambar 1. Grafik penyelesaian Schmertmann untuk menentukan besarnya koefisien gaya (K)

Dengan demikian dari persamaan H' = H + q/γ_r + 0.1 m (untuk peningkatan elevasi badan jalan sebesar 2%) diperoleh H' = 5 m + (10 kN/m^2 / 21 kN/m^3) + 0,1 m = 5,6m

Sehingga didapat $T_{s\text{-}max}$ = 0,5 K γ_r $(H')^2$ = 0,5 (0,14) (21) $(5,6)^2$ = 46,1 kN

1) Spasi perkuatan:

Karena tinggi lereng H < 6m, gunakan spasi perkuatan yang seragam. Akibat sifat tanah timbunan yang kohesif, direkomendasikan agar tebal maksimum tiap-tiap lapisan timbunan yang dipadatkan adalah 200mm.

Untuk menghindari digunakannya lapisan penutup muka *(facing),* spasi yang digunakan antar lapisan lebih rapat, yaitu 0,4m. Sebagai

catatan, lapisan penutup biasanya dibutuhkan pada lereng yang kemiringannya lebih curam dari 1V:1H untuk mencegah terjadinya gerusan permukaan. Dengan demikian, jumlah lapis perkuatan yang dibutuhkan adalah N = 5m/0,4m = 12,5. Gunakan 12 lapis dengan lapisan terbawah dipasang setelah lapisan pertama tanah timbunan dihamparkan dan dipadatkan. Kekuatan tiap-tiap lapisan dihitung dengan persamaan berikut:

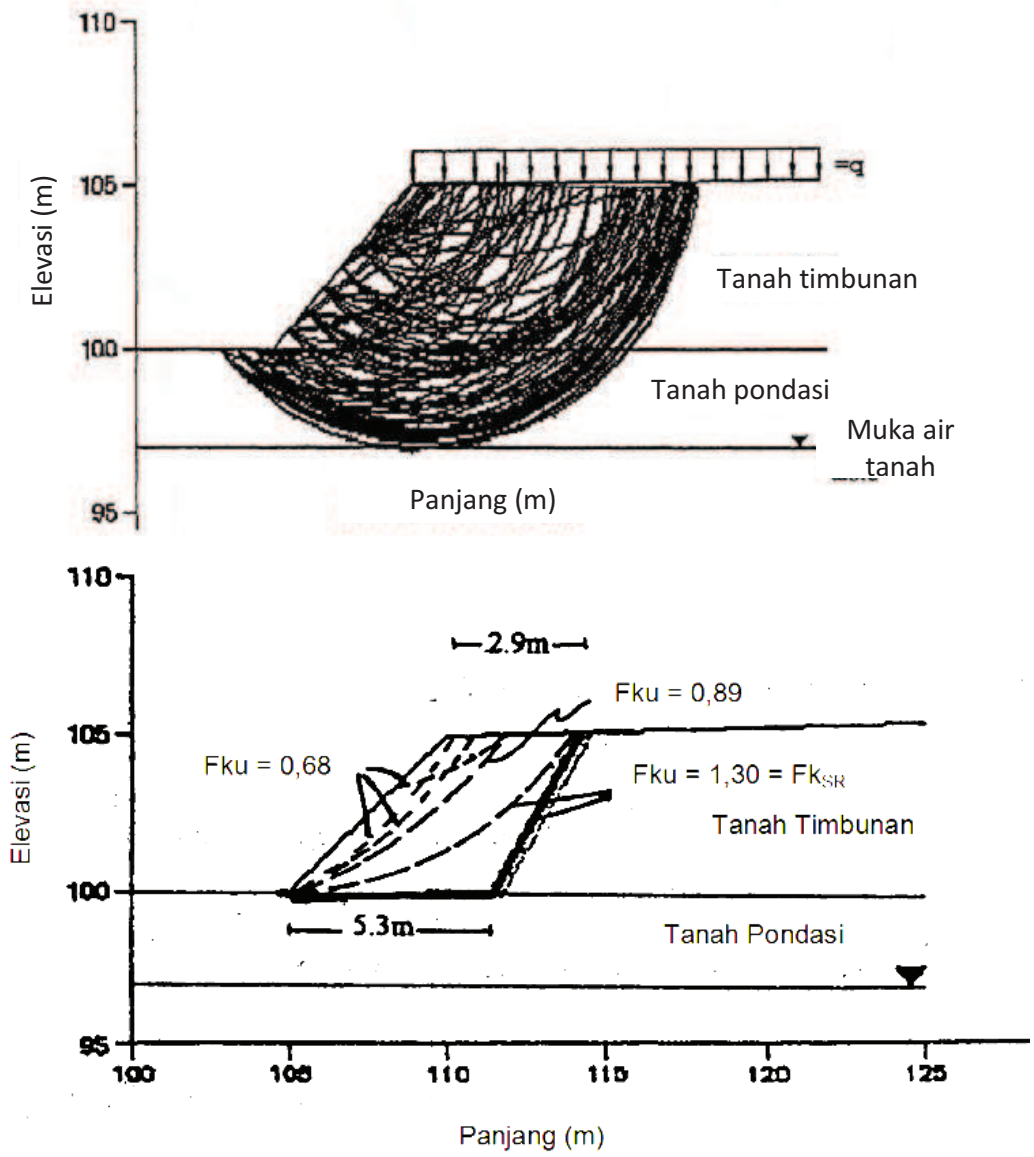
$$T_d = \frac{T_{\max}}{N} = \frac{49.7\,kN/m}{12} = 4.14\,kN/m$$

2) Panjang perkuatan:

Untuk *preliminary analysis*, zona kritis yang diperoleh dari analisis dengan piranti lunak dapat digunakan untuk menentukan batas panjangnya perkuatan (Gambar 2). Dari Gambar bidang gelincir tersebut, diketahui bahwa panjang perkuatan yang dibutuhkan adalah:

Pada bagian bawah (L_B) : 5.3 m

Pada bagian atas (L_T) : 2.9m.

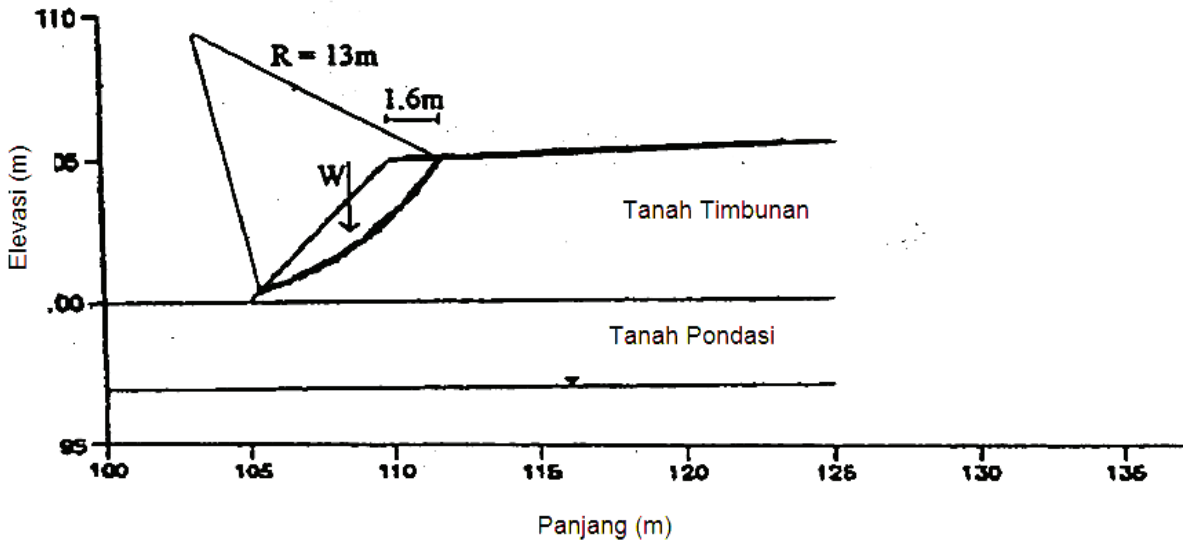


Gambar 2. Penentuan panjang perkuatan dari hasil analsis dengan XSTABL

Langkah selanjutnya adalah mengecek panjang tertanam (L_e) yang melewati zona kritis dan faktor keamanan terhadap cabut (pullout).

Karena lokasi perkuatan yang paling kritis untuk dapat tercabut adalah di dekat bagian atas lereng (pada kedalaman Z = 0.2m), kurangi panjang atas perkuatan (L_T) dengan jarak dari titik bidang gelincir terkritis sampai ke permukaan lereng (jika diukur dari

Gambar 3, panjangnya 1.6m). Dengan demikian, pada bagian atas: L_e =2.9-1.6=1.3m.



Gambar 3. Bidang yang membutuhkan perkuatan terbesar (bidang yang paling kritis)

3) Stabilitas terhadap cabut:

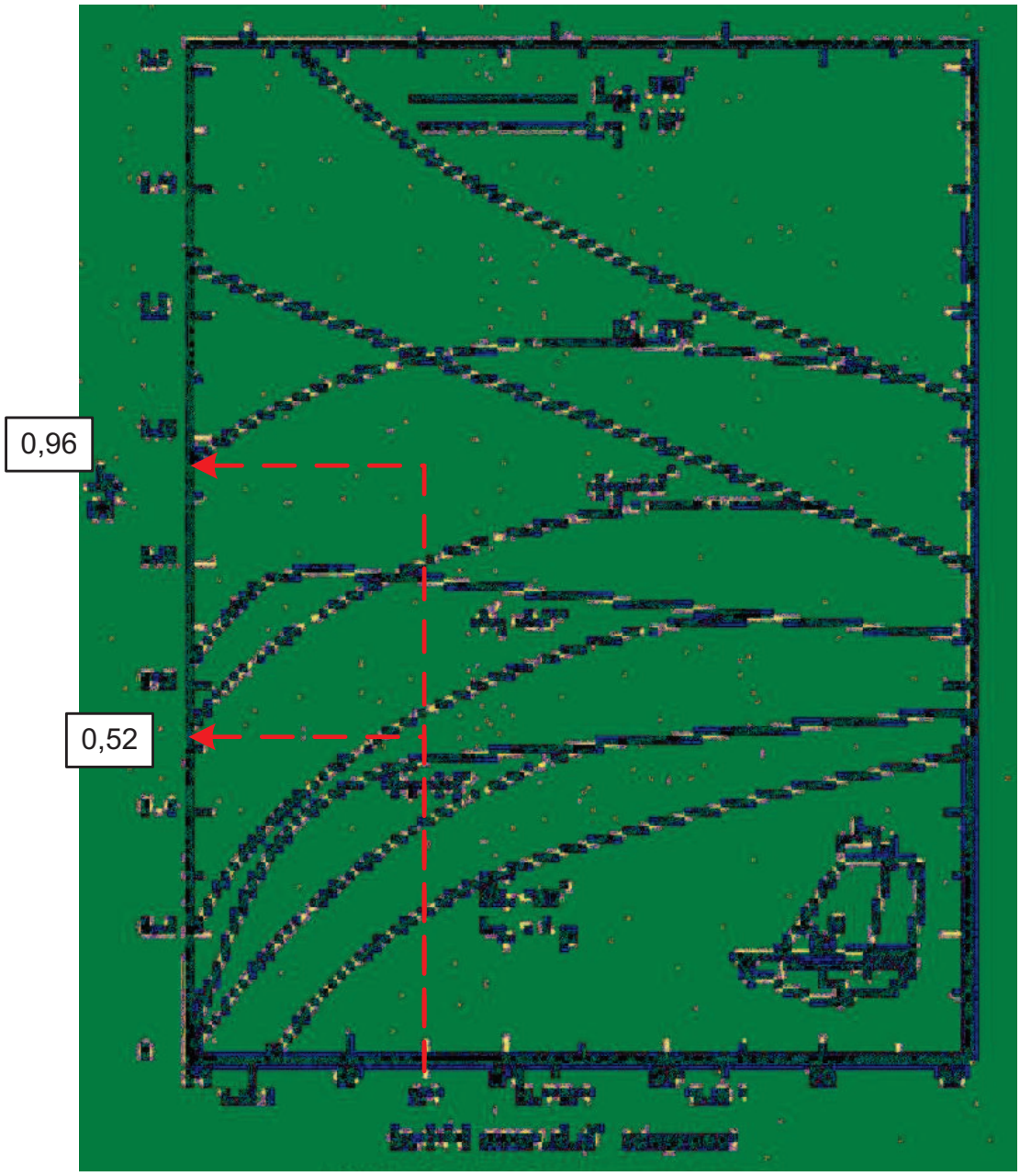
Dengan mengasumsikan bahwa faktor cabut (F*) dan α untuk geotekstil didapat dari Tabel 3.2, maka F* = 0,67 tan ϕ dan α = 0,6. Oleh karena itu faktor keamanan terhadap cabut adalah:

$$Fk_{PO} = \frac{L_e F^* \alpha \sigma_v C}{T_{max}} = \frac{1.3(0.67\tan 33)(0.6)((0.2\times 21)+10)(2)}{4.14}$$

Fk_{PO} = 2,3 > 1,5, memenuhi.

4) Panjang perkuatan berdasarkan grafik:

Cek panjang perkuatan dengan menggunakan grafik Schmertmann pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik penyelesaian Schmertmann untuk menentukan perbandingan panjang perkuatan, L/H'

Untuk L_{bawah} (L_B) : $\phi'_f = \tan^{-1} (\tan \phi'_r / Fk_R) = \tan^{-1} (\tan 28 / 1,3) = 22,2^o$

Dari Gambar 4, diperoleh $L_b/H' = 0,96$, Sehingga, $L_B = 5.6 \times 0.96 = 5,4m$

Untuk L_{atas} (L_T) : $\phi'_f = \tan^{-1} (\tan \phi'_r / Fk_R) = \tan^{-1} (\tan 33/ 1,3) = 26,5^o$

Dari Gambar 4, diperoleh $L_a/H' = 0,52$

Sehingga, $L_T = 5,6 \times 0,52 = 2,9$ m

Hasil analisis dengan piranti lunak dan bantuan grafik juga memberikan nilai yang tidak jauh berbeda.

Rekomendasi perencanaan :

Untuk pekerjaan pelebaran badan jalan ini dibutuhkan geotekstil sebagai perkuatan lereng dengan kuat tarik T_{ult} sebesar 49,7 kN dan kuat rencana pada tiap lapisannya adalah 4,14 kN. Tanpa perkuatan lereng, faktor keamanan global tidak memenuhi persyaratan (FK < 1,3). Geotekstil direkomendasikan untuk dipasang dengan spasi yang seragam yaitu 0,4 m, dengan jumlah 12 lapis

4 Prosedur pelaksanaan lereng tanah yang diperkuat

Bab 4 ini menjelaskan hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan lereng tanah yang diperkuat, meliputi prosedur pelaksanaan, pengawasan lapangan dan pertimbangan biaya untuk efektivitas dan efisiensi konstruksi.

4.1. Prosedur pelaksanaan;

Prosedur pelaksanaan lereng yang diperkuat adalah sebagai berikut:

A. Penyiapan lahan;

1) Bersihkan lokasi;
2) Buang material longsoran (untuk pengembalian kondisi lereng);
3) Siapkan elevasi tanah dasar untuk penimbunan satu lapis perkuatan;
4) Padatkan tanah dasar di bawah lereng.

B. Pemasangan lapisan pertama perkuatan (lihat Gambar 4.1a);

1) Pasang perkuatan dengan arah utama yang tegak lurus dengan permukaan lereng;
2) Lindungi perkuatan dengan jepit penahan untuk mencegah pergerakan selama pemasangan;
3) Lebihkan geosintetik minimum 15 cm di sepanjang ujungnya dan tegak lurus dengan permukaan lereng.

C. Penimbunan di atas perkuatan;

1) Penimbunan dilakukan hingga mencapai ketebalan yang diinginkan, dengan menggunakan *front-end loader* ;

2) Pertahankan tebal minimum 15 cm di antara perkuatan dan roda peralatan konstruksi;

3) Padatkan timbunan dengan alat pemadat getar untuk material berbutir, atau pemadat ban karet untuk material kohesif;

4) Pada saat penimbunan dan pemadatan, hindari deformasi dan pergerakan perkuatan;

5) Gunakan alat pemadat ringan pada bagian yang berbatasan dengan muka lereng untuk mempertahankan alinyemen permukaan.

D. Pengawasan pemadatan;

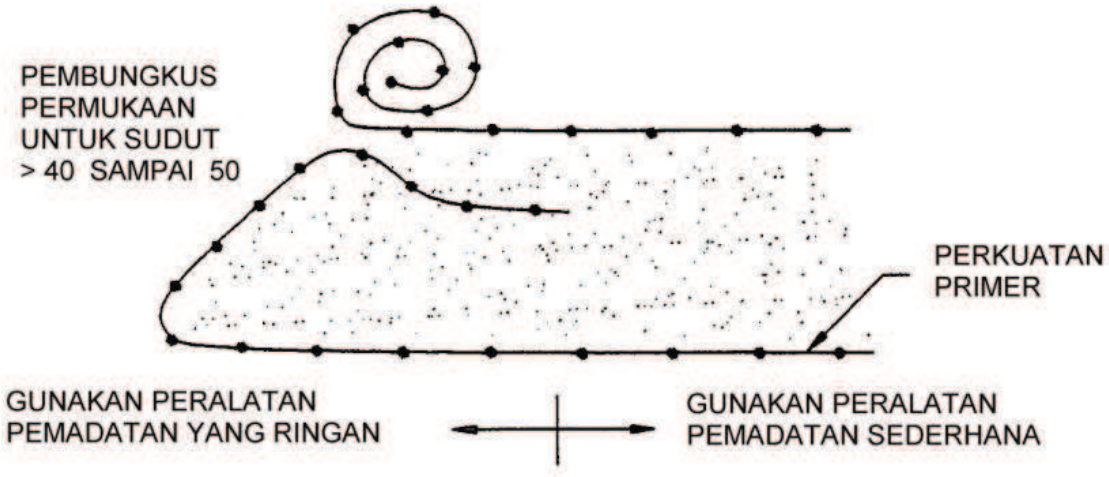
1) Lakukan pengawasan kadar air dan kepadatan material timbunan sesuai sub bab 2.2 dan sub bab 2.3;

2) Bahan timbunan yang terdiri dari agregat kasar sebaiknya menggunakan spesifikasi kepadatan relatif atau spesifikasi pemadatan khusus.

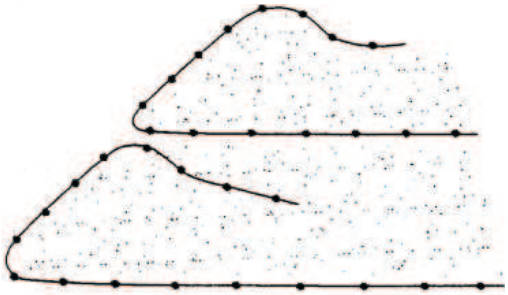
E. Konstruksi muka lereng;

Kebutuhan jenis muka tergantung pada jenis tanah, sudut lereng, dan spasi perkuatan yang digunakan. Umumnya pelapis luar dibutuhkan untuk mencegah penggerusan atau erosi. Muka ini tidak diperlukan untuk lereng dengan kemiringan (1V : 1H), atau jika spasi perkuatan kurang dari 0,40 m). Lereng dengan kemiringan curam atau kemiringan lebih dari (1 V : 1H), umumnya membutuhkan lapisan penutup lereng.

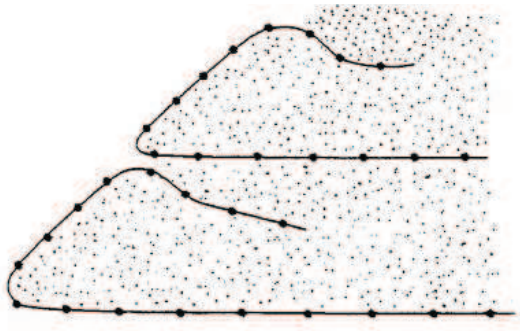
F. lanjutkan dengan pemasangan perkuatan dan penimbunan berikutnya (lihat Gambar 4.1b,c).



(a) Pemasangan perkuatan lapis pertama dan persiapan lapis kedua



(b) Pemasangan perkuatan lapis kedua



(c) Penyelesaian lapis kedua

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 4.1. Pemasangan Lapis Perkuatan

4.2. Pengawasan Lapangan

Mengingat pentingnya penerapan prosedur konstruksi terhadap keberhasilan perkuatan lereng, maka dibutuhkan pengawas yang kompeten dan profesional. Pengawas Lapangan harus dilatih dengan baik agar mampu mengamati setiap tahapan konstruksi dan memastikan bahwa:

A. Bahan yang dikirimkan ke lokasi proyek telah sesuai dengan kebutuhan;

B. Geosintetik tidak rusak selama konstruksi;

C. Tahapan konstruksi yang dibutuhkan telah diikuti dengan benar.

Pengawas Lapangan juga harus mengkaji daftar yang diberikan pada lampiran. Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan adalah menjaga agar geosintetik tidak terkena sinar ultraviolet.

4.3. Pertimbangan biaya

Biaya yang harus dipertimbangkan dalam konstruksi adalah sebagai berikut:

A. Jumlah material galian atau timbunan;

B. Luas lahan pembangunan lereng;

C. Ketinggian rata-rata luas lahan pembangunan lereng;

D. Sudut lereng;

E. Biaya material timbunan pilihan dan bukan pilihan ;

F. Ketentuan perlindungan erosi;

G. Biaya dan ketersediaan ruang lintasan yang diinginkan;

H. Perubahan alinyemen horizontal dan vertikal yang rumit;

I. Perlengkapan pengaman (*guard rail*, pagar, dan lain-lain);

J. Kebutuhan sistem penahan sementara untuk penggalian;

K. Pengaturan lalu lintas selama konstruksi; dan

L. Estetika.

Soal Latihan :

1. Penggunan geosintetik sebagai perkuatan berfungsi sebagai:
   a) Menahan tegangan yang bekerja
   b) Mencegah deformasi
   c) Mempertahankan stabilitas massa tanah
   d) Semua yang disebutkan diatas
2. Lereng tanah yang diperkuat berfungsi untuk menstabilkan lereng dengan kemiringan permukaan:
   a) 5°- 30 °
   b) 30°-70 °
   c) 70°-90 °
   d) <90 °
3. Keuntungan ekonomis penggunaan lereng tanah yang diperkuat dibandingkan lereng tanpa perkuatan adalah sebagai berikut, kecuali:
   a) Mengurangi volume bahan timbunan
   b) Mengurangi pemakaian lahan
   c) Lereng lebih landai
   d) Memungkinkan digunakannya tanah setempat sebagai material timbunan
4. Persyaratan timbunan yang diperkuat adalah sebagai berikut, kecuali:
   a) 20%-100% lolos saringan No.4
   b) Indeks plastisitas ≥ 20
   c) Ketahanan magnesium sulfat < 30% setelah 4 siklus
   d) Dipadatkan hingga 95% berat isi kering (γ_d) pada kadar air optimum.
5. Persyaratan kinerja perencanaan lereng tanah yang diperkuat adalah:
   a) Stabilitas eksternal dan penurunan
   b) Stabilitas global dengan memperhitungkan moda keruntuhan internal dan gabungan
   c) Stabilitas terhadap beban gempa

d) Semua yang disebutkan diatas

6. Faktor keamanan minimum stabilitas terhadap gempa yang harus dipenuhi dalam perencanaan lereng tanah yang diperkuat adalah:

   a) $Fk_{min} = 1,3$

   b) $Fk_{min} = 1,5$

   c) $Fk_{min} = 2,0$

   d) $Fk_{min} = 1,1$

7. Jelaskan fungsi dari lereng tanah yang diperkuat dan aplikasinya pada pekerjaan geoteknik?

8. Jelaskan tujuan pembungkusan muka lereng dengan geosintetik dan kapan pembungkusan muka lereng dengan geosintetik diperlukan?

9. Bagaimana cara mengatasi permasalahan lereng tanah dengan pola keruntuhan yang dalam?

10. Terdapat lapisan tanah lunak dibawah timbunan dengan ketebalan 2m, hitunglah faktor keamanan terhadap keruntuhan akibat peremasan bila diketahui jenis tanah timbunan adalah tanah merah dengan kuat geser tak terdrainase = 15kPa, tinggi timbunan = 4m dan kemiringan lereng 1H:1V.

Daftar Istilah

Indonesia	Inggris
Berat jenis	Specific gravity
Cabut	Pullout
Contoh uji	Sample
Dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis	Mechanically stabilized earth wall
Durabilitas	Durability
Elongasi	Elongation
Friksi	Friction
Geosintetik	Geosynthetics
Grid	Grid
Gulungan	Roll
Kekuatan izin	Allowable strength
Kompresibilitas	Compressibility
Lereng tanah yang diperkuat	Reinforced soil slopes
Massa per satuan luas	Mass per unit area
Pita	Strip
Tahanan cabut	Pullout resistance
Tak-teranyam	Non woven
Teranyam	Woven
Transmisivitas	Transmissivity

Daftar Pustaka

DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, No. 003/BM/2009*. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

FHWA-NHI-10-024&FHWA-NHI-10-025.2009. *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I & II.* National Highway Institute.

Koerner, Robert M. 2005. *Designing with Geosynthetic, 5th Edition*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering.* Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Jawaban Soal Latihan

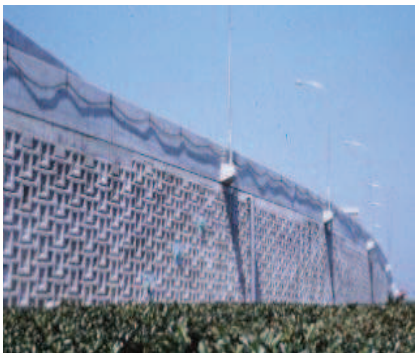
1. d
2. b
3. c
4. b
5. d
6. d
7. Fungsi utama lereng tanah adalah meningkatkan stabilitas lereng dengan sudut kemiringan curam (<70°) dan memberikan tahanan lateral selama pemadatan timbunan. Aplikasi lereng tanah yang diperkuat adalah untuk timbunan jalan baru, pelebaran timbunan jalan lama dan perbaikan lereng yang telah mengalami longsoran.
8. Pembungkusan bertujuan untuk menghindari erosi permukaan. Pembungkusan diperlukan bila sudut kemiringan lereng tanah yang diperkuat > 45° (1Vertikal : 1Horizontal)
9. Panjang perkuatan lapisan bawah harus diperpanjang sampai pada batas zona kritis.
10. Gunakan persamaan 3-17, $FK_{peremasan}$ = 1.45

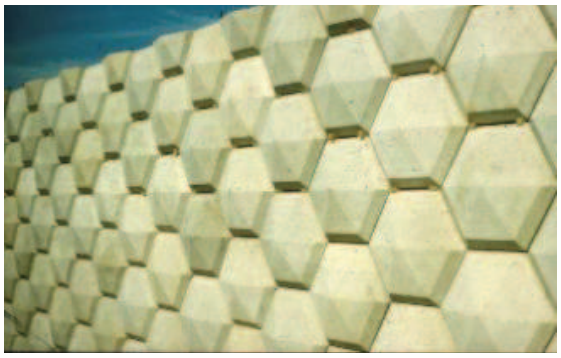
Acknowledgement

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.

Modul Pelatihan Geosintetik

VOLUME 4.
PERENCANAAN DAN PELAKSANAAN DINDING PENAHAN TANAH YANG DIPERKUAT GEOSINTETIK





Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

Kata Pengantar

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik No. 003/BM/2009 serta pedoman dan spesifikasi geosintetik untuk filter, separator dan stabilisator.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil filter.

Modul Volume 4 ini menerangkan secara rinci fungsi dan aplikasi dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik, atau dikenal juga sebagai *Mechanically Stabilized Earth Wall (MSEW)*, tipe-tipe strukturnya serta elemen-elemen utama dinding tersebut. Pada modul ini juga diuraikan jenis-jenis elemen penutup muka *(facing)* yang umum digunakan untuk melapisi bagian luar dinding penahan tanah dengan disertai oleh ilustrasi gambar. Sehubungan dengan pelaksanaan konstruksi ini di lapangan, modul ini juga memberikan tahapan-tahapan analisis serta konsep desain yang diacu. Modul juga disertai contoh perhitungan agar Peserta Pelatihan dapat menghitung kebutuhan geosintetik sebagai perkuatan dinding.

Pada bagian akhir modul ini dibahas mengenai tahap-tahap pelaksanaan di lapangan serta beberapa ulasan mengenai kontrol kualitas dan monitoring instrumentasi di lapangan setelah konstruksi dibangun.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

Tujuan

Tujuan pelatihan ini adalah agar peserta mampu memahami tata cara perencanaan dan pelaksanaan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik *(mechanically stabilized earth wall).*

Tujuan Instruksional Umum

Peserta diharapkan mampu merencanakan dan melaksanakan pekerjaan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik *(mechanically stabilized earth wall)*.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

- Memahami fungsi dan aplikasi dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik.
- Memahami elemen-elemen utama dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik .
- Memahami tata cara perencanaan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik.
- Menghitung kebutuhan geosintetik untuk perkuatan dinding penahan tanah, di antaranya panjang, spasi vertikal dan panjang lipatan selubung geotekstil *(wraparound geotextiles).*
- Memahami prosedur pelaksanaan dan pengawasan konstruksi di lapangan serta pemantauan instrumen secara umum.

Daftar Isi

1. Prinsip Dasar, Fungsi dan Aplikasi 9
   1.1. Pengantar 9
   1.2. Prinsip Dasar 11
   1.3. Fungsi dan Aplikasi 12
2. Komponen Utama Dinding dan Pemilihan Sifat Teknis 15
   2.1. Komponen Utama Dinding 15
      2.1.1. Material timbunan 15
      2.1.2. Lapis perkuatan 16
      2.1.3. Elemen penutup muka *(facing)* 19
   2.2. Pemilihan Sifat Teknis 21
      2.2.1. Tanah Dasar 21
      2.2.2. Tanah Timbunan yang Diperkuat 22
      2.2.3. Tanah Timbunan yang Ditahan 24
      2.2.4. Sifat-sifat Elektrokimia 24
      2.2.5. Sifat-sifat Geosintetik 24
         2.2.5.1. Karakteristik Geometri 24
         2.2.5.2. Sifat-sifat Kekuatan Geosintetik 24
      2.2.6. Interaksi tanah dan geosintetik 25
         2.2.6.1. Evaluasi kinerja tahanan cabut; 25
         2.2.6.2. Perhitungan Tahanan Cabut; 25
         2.2.6.3. Gesekan antar permukaan. 25
   2.3. Soal Latihan 26
3. Analisis dan Desain Perkuatan 27
   3.1. Pengantar 27

3.2. Konsep Dasar Analisis 28
3.3. Desain dengan Geotekstil Tanpa Beban Tambahan 29
3.4. Desain Geotekstil dengan Beban Tambahan .. 36
3.4.1. Cek Stabilitas Internal 37
3.4.2. Cek Stabilitas Eksternal 42
3.4.2.1. Penentuan Dimensi untuk Stabilitas Eksternal 42
3.4.3. Desain dengan Geogrid 52
3.5. Contoh Perhitungan 53
3.6. Soal Latihan 60
4. Pelaksanaan dan Pemantauan Konstruksi 61
4.1. Panduan Pelaksanaan Secara Umum 61
4.2. Prosedur Pelaksanan Khusus dengan Geoteksil sebagai Perkuatan 66
4.3. Prosedur Pelaksanaan dengan Lapisan Penutup Beton Pracetak 69
4.4. Pengawasan Lapangan 74

Daftar Gambar

Gambar 1-1 Dinding Penahan Tanah yang diperkuat dengan geotekstil 10
Gambar 1-2 Tipikal diagram skematik dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geogrid 11
Gambar 1-3 Aplikasi Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat 13
Gambar 2-1 Bentuk-bentuk perkuatan dinding 17
Gambar 2-2 Definisi serta jenis dinding dan abutmen 18
Gambar 2-3 Tampak samping dinding penahan tanah dengan elemen penutup muka: (a) geosintetik (b) gabion/bronjong (c) panel beton pracetak dan (d) unit dinding blok modular 19
Gambar 2-4 Perlindungan elemen penutup muka dari geotekstil .. 20
Gambar 2-5 Contoh-contoh unit dinding blok modular dengan bentuk: (a) porcupine (b) keystone dan (c) geoblock..... 21
Gambar 3-1 Model keruntuhan internal 28
Gambar 3-2 Model keruntuhan eksternal 29
Gambar 3-3 Model keruntuhan lapis penutup muka 29
Gambar 3-4 Konsep tekanan tanah dan desain dinding penahan dengan geotekstil 39
Gambar 3-5 Tekanan tanah lateral akibat beban permukaan, gambar kiri adalah beban merata, gambar kanan adalah beban terpusat 40
Gambar 3-6 Mekanisme keruntuhan eksternal untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik 43
Gambar 3-7 Bagan alir perhitungan stabilitas eksternal 44
Gambar 3-8 Perhitungan Tekanan Tanah Aktif (Analisis Coulomb) 47
Gambar 3-9 Analisis Eksternal untuk Lereng Belakang Dinding Horizontal dengan Beban Lalu Lintas 47
Gambar 3-10 Stabilitas Eksternal Terhadap Gempa untuk Kondisi Timbunan Datar 51
Gambar 3-11 Geometri dinding penahan..... 53

Gambar 3-12 Sketsa pembagian area untuk perhitungan stabilitas internal 57
Gambar 4-1 Langkah konstruksi lapisan geotekstil pada dinding penahan tanah (Fundamental) 63
Gambar 4-2 Prosedur konstruksi bertahap standar untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik: (a) dasar dari beton; (b) kantung berisi kerikil; (c) timbunan dan pemadatan (d) lapisan kedua dari geotekstil dan kantung berisi kerikil; (e) konstruksi seluruh lapisan; (f) konstruksi penutup muka beton (Fundamental) 64
Gambar 4-3 Prosedur Konstruksi Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geogrid: (a) pekerjaan tanah; (b) pemasangan lapisan geogrid; (c) pemasangan lapisan filter geotekstil di dekat permukaan dinding; (d) sambungan antara lembar geogrid yang terlipat dengan lembar geogrid berikutnya; (e) tampak depan dinding (Fundamental) 65
Gambar 4-4 Tahapan konstruksi dinding dengan elemen penutup muka selubung geotekstil 68
Gambar 4-5 Aplikasi dinding penahan tanah dengan penutup muka selubung geotekstil 69
Gambar 4-6 Pemasangan Panel Pracetak 72
Gambar 4-7 Penyebaran Material Timbunan dan Penyambungan Perkuatan 73
Gambar 4-8 Pemadatan Timbunan 73

Daftar Tabel

Tabel 2-1 Tanah timbunan untuk dinding penahan tanah (Shukla, et.al, 2006)..... 16
Tabel 2-2 Beberapa Kisaran Nilai Sifat-sifat Indeks dan Mekanis Tanah..... 23
Tabel 2-3 Ketentuan Tanah Timbunan untuk Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geosintetik..... 23
Tabel 3-1 Hasil perhitungan V_i , T_{max} dan T_{all}..... 58
Tabel 3-2 Hasil perhitungan panjang perkuatan..... 59
Tabel 5-1 Metode dan Alat Monitoring Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geosintetik (Fundamental) .. **Error! Bookmark not defined.**
Tabel 5-2 Deskripsi Pekerjaan Monitoring (Fundamental).....**Error! Bookmark not defined.**

1 Prinsip Dasar, Fungsi dan Aplikasi

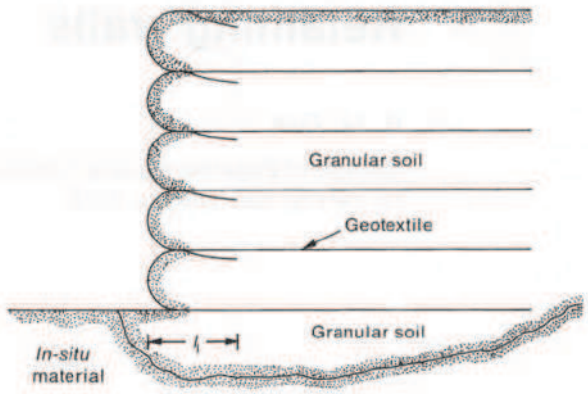
Tanah adalah material yang mampu menahan tekan (compression), namun lemah menahan tarik (tension). Kemampuan menahan tarik dapat diambil alih oleh perkuatan karena interaksi antara perkuatan dan tanah adalah melalui gaya gesek (friction) atau kunci an mekanis (mechanical interlock).

1.1. Pengantar

Sejak tahun 1970an, beragam jenis geosintetik telah digunakan sebagai perkuatan dinding penahan di berbagai belahan dunia. Pada awal tahun 1980an, geogrid pertama kali diproduksi. Mulai saat itu pemanfaatan geogrid sebagai material perkuatan tanah pada konstruksi dinding penahan mulai banyak digunakan. Modul Volume 4 ini membahas panduan umum konstruksi dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geotekstil dan geogrid.

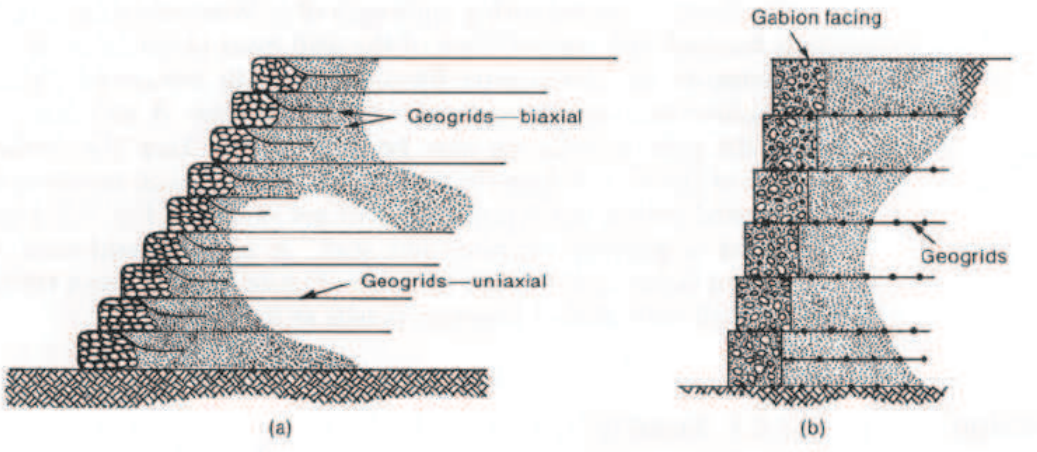
Dibandingkan dengan dinding penahan kaku yang terbuat dari beton, dinding penahan tanah dengan geosintetik *(Mechanically Stabilized Earth Wall, MSEW)* ini relatif lebih fleksibel. Gambar 1-1 berikut memperlihatkan ilustrasi dinding penahan tersebut. Pada sebagian besar kasus, material timbunan yang digunakan adalah material berbutir. Pada dinding tipe ini, elemen penutup muka dinding dibuat dengan melipat lembaran-lembaran geosintetik dengan panjang lipatan sebesar 11 inchi (27,9 cm). Saat konstruksi dinding selesai, bagian

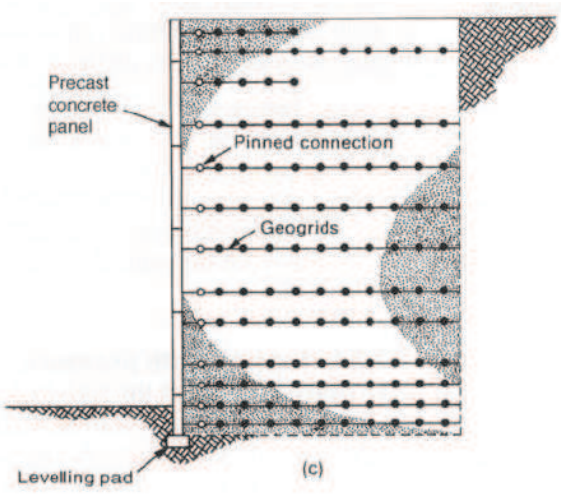
dinding yang terbuka harus ditutup karena jika tidak geosintetik akan rusak terkena sengatan sinar UV. Dalam hal ini emulsi bitumen atau gunite disemprotkan ke permukaan dinding.



Gambar 1-1: Dinding Penahan Tanah yang diperkuat dengan geotekstil

Rangka kawat *(wire mesh)* yang diikatkan ke permukaan geosintetik akan dibutuhkan untuk menjaga lapis luar *(coating)* di atas permukaan dinding. Diagram skematis beberapa dinding penahan yang dibangun dengan geogrid diperlihatkan pada Gambar 1-2.





Gambar 1-2: Tipikal diagram skematik dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geogrid

Gambar 1-2a memperlihatkan dinding dengan selubung geogrid. Dinding yang diperkuat dengan geogrid dan penutup muka gabion ditunjukkan pada Gambar 1-2 b, sedangkan Gambar 1-2 c menunjukkan dinding penahan vertikal dengan panel beton pracetak sebagai elemen penutup mukanya.

1.2. Prinsip Dasar

Dinding penahan tanah yang diperkuat didefinisikan sebagai struktur vertikal apabila sudut kemiringannya lebih curam daripada 80°. Prinsip dasar dari tanah yang diperkuat adalah:

- Agar dapat bekerja dengan baik, tanah dan perkuatan harus mampu menahan tarik *(strain).*
- Pada suatu struktur yang stabil, kemampuan tarik *(strain compatibility)* tanah dan perkuatan adalah sama.
- Kemampuan tarik tanah yang diperkuat adalah dipengaruhi oleh:
    - Kekakuan perkuatan

- Sifat atau propertis tanah
- Kondisi tegangan *(stress state)* tanah

Mengapa dibangun dinding penahan tanah yang diperkuat?

☑ Lebih ekonomis dan menguntungkan dari segi teknologi

☑ Dapat dibangun di atas tanah fondasi yang lunak atau di terrain yang sulit

☑ Sangat sesuai dengan filosofi desain modern, seperti jembatan integral *(integral bridges)*

☑ Tahan gempa

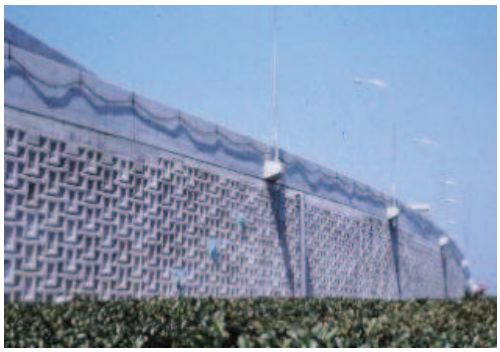
1.3. Fungsi dan Aplikasi

Struktur dinding penahan, termasuk yang diperkuat dengan geosintetik, dapat dipertimbangkan sebagai alternatif yang efektif untuk menggantikan dinding gravitasi konvensional, kantilever beton, atau dinding penahan yang diperkuat dengan pita metalik *(metallic strips)*.

Penggunaan geosintetik memberikan solusi yang sangat variabel dan ekonomis dibandingkan dengan pita metalik, terutama pada kondisi lingkungan yang berbeda-beda. Tinggi maksimum dinding yang diperkuat dengan geosintetik hanya mencapai kurang lebih 15 m – 22 m, sedangkan dengan pita metalik dapat melebihi 30 m.

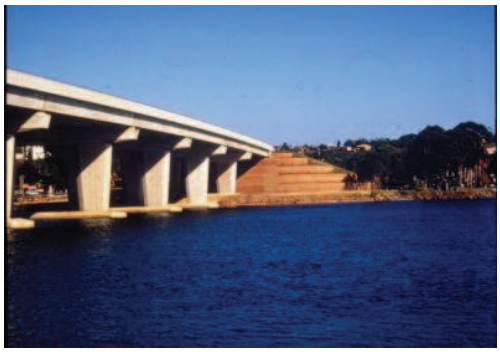
Pilihan jenis penutup permukaan untuk dinding dengan perkuatan geosintetik juga lebih bervariasi dibandingkan dengan perkuatan metal yang umumnya hanya menggunakan panel beton pracetak.

Beberapa aplikasi dinding penahan tanah tersebut diilustrasikan pada Gambar 1-3.



Dinding penahan tanah konvensional

Dinding pada terrain yang sulit



Abutmen jembatan

Pekerjaan sementara

Gambar 1-3: Aplikasi Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat

1.4. Soal Latihan

1. Manakah di antara elemen berikut yang bukan merupakan elemen penutup muka dinding penahan tanah yang distabilisasi mekanis ?

(a) Gabion

(b) Panel beton pracetak

(c) Geomembran

(d) Geotekstil

2. Berikut ini adalah alasan dibangunnya dinding penahan tanah yang diperkuat, kecuali:

(a) Sesuai sebagai konstruksi di atas tanah dasar lunak

(b) Dapat menahan pengaruh gempa

(c) Mengacu pada filosofi desain konvensional

(d) Lebih ekonomis dipandang dari sisi teknologi

3. Pada tahun berapa geosintetik mulai diperkenalkan sebagai perkuatan dinding ?

(a) 1960an

(b) 1970an

(c) 1980an

(d) 1990an

4. Berapakah tinggi maksimum dinding penahan yang diperkuat dengan geosintetik ?

(a) 50 m

(b) 35 m

(c) 30 m

(d) 22 m

2 Komponen Utama Dinding dan Pemilihan Sifat Teknis

Konstruksi dinding penahan tanah dipilih jika konstruksi lereng dinilai sudah tidak ekonomis dan tidak layak secara teknis. Bahkan konstruksi tersebut dapat mencegah backfill soil from assuming its natural slope.

2.1. Komponen Utama Dinding

Dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik terdiri dari lapisan-lapisan geosintetik yang berfungsi sebagai elemen penguat di dalam timbunan. Elemen ini membantu melawan tekanan tanah lateral.

Tiga komponen dasar dinding adalah:

1. Material timbunan, yang merupakan tanah berbutir;
2. Lapisan perkuatan, yang umumnya adalah lapisan geotekstil dan geogrid;
3. Elemen penutup muka *(facing)*, yang tidak harus ada namun seringkali digunakan untuk memperbagus tampilan dinding serta mencegah erosi antara tanah dan lapisan perkuatan.

2.1.1. Material timbunan

Apabila lapisan geotekstil yang digunakan sebagai perkuatan, maka tanah kohesif dapat pula digunakan sebagai material timbunan. Akan tetapi drainase vertikal dari material berbutir atau geotekstil harus

diatur sedemikian rupa. Butiran halus (dengan ukuran partikel < 0,075 mm) di dalam tanah timbunan berbutir sebaiknya secara umum memiliki indeks plastisitas (IP) < 6 dan persentase lolos saringan No. 200 (0,075 mm) tersebut tidak lebih dari 15%.

Butiran di dalam material timbunan berbutir sebaiknya secara umum < 19 mm. Jika butirannya > 19 mm maka di dalam perencanan (desain) perlu dipertimbangkan pengurangan kekuatan geosintetik akibat kerusakan pada saat pemasangan.

Tabel 2-1 berikut memberikan panduan dalam memilih material timbunan yang sesuai dengan menggunakan dua parameter dasar, yaitu sudut geser efektif (ϕ'), kuat geser saat dipadatkan serta dalam kondisi jenuh (c).

Tabel 2-1: Tanah timbunan untuk dinding penahan tanah (Shukla, et.al, 2006)

Klasifikasi USCS	*Sudut geser efektif (derajat)*	*Kuat geser saat dipadatkan dan dijenuhkan*	*Keterangan*
GW, GP	37-42	Sangat baik hingga baik	Direkomendasikan sebagai material timbunan
GM, SW, SP	33-40	Sangat baik hingga baik	Direkomendasikan sebagai material timbunan
GC, SM, SC, ML, CL	25-32	Baik hingga cukup baik	Direkomendasikan untuk material timbunan dengan kriteria tambahan
MH, CH, OH, OL	-	Buruk	Umumnya tidak direkomendasikan untuk material timbunan
Pt	-	Buruk	Tidak direkomendasikan untuk material timbunan

2.1.2. Lapis perkuatan

Geotekstil teranyam *(woven geotextiles)* dan geogrid dengan modulus elastisitas yang tinggi pada umumnya digunakan sebagai elemen perkuatan tanah. Akibat fungsi perkuatannya yang permanen, geosintetik tersebut harus memiliki durabilitas yang cukup tinggi. Perlu diingat bahwa transfer beban jangka panjang pada tanah yang diperkuat

dengan geosintetik sangat tergantung kepada durabilitas dan karakteristik rangkak *(creep)* dari geosintetik tersebut.

Lapis perkuatan geotekstil dan geogrid dapat berbentuk pita *(strip),* grid dan lembaran *(sheet)* yang diperlihatkan pada Gambar 2-1.

Pita *(strip)*

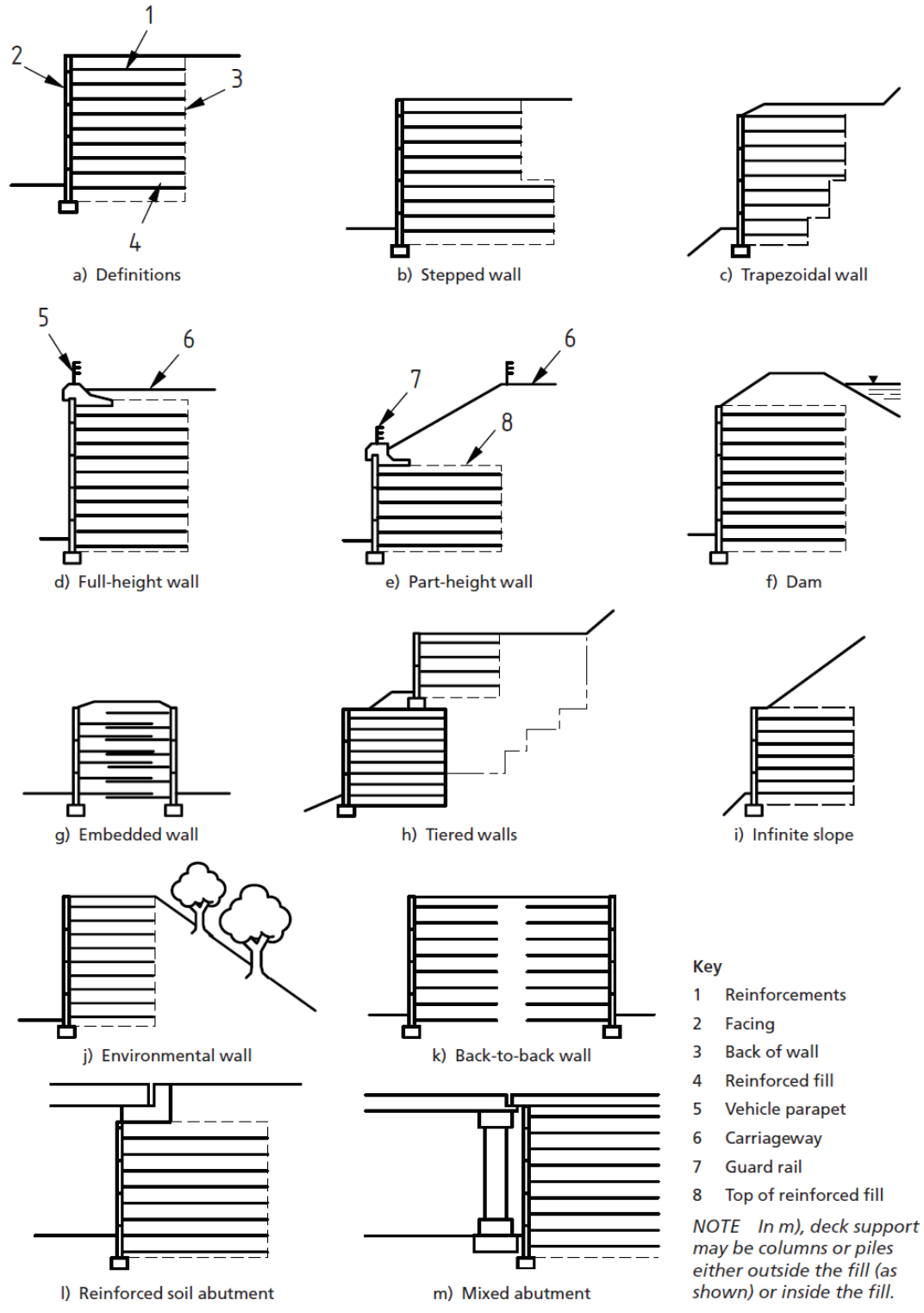
Grid

Lembaran *(sheet)*

Angkur *(anchor)*

Gambar 2-1: Bentuk-bentuk perkuatan dinding

Ilustrasi lebih detail untuk dinding dengan perkuatan yang tampak pada Gambar 2-1 diperlihatkan pada Gambar 2-2 berikut.

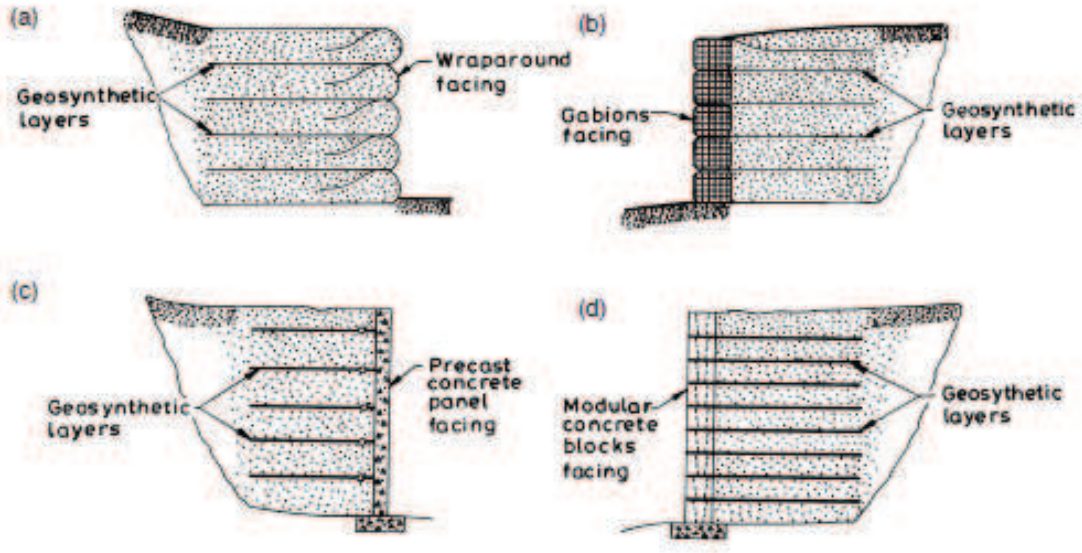


Gambar 2-2: Definisi serta jenis dinding dan abutmen

2.1.3. Elemen penutup muka *(facing)*

Performa dinding yang diperkuat dengan geosintetik amat tergantung kepada jenis elemen penutup muka yang digunakan serta kehati-hatian pada saat perencanaan maupun pelaksanaan. Elemen penutup muka dapat dipasang sebagai dinding pada saat konstruksi sedang berjalan, atau setelah konstruksi dinding selesai.

Gambar 2-3 memperlihatkan jenis-jenis elemen penutup muka pada dinding penahan tanah tersebut.



Gambar 2-3: Tampak samping dinding penahan tanah dengan elemen penutup muka: (a) geosintetik (b) gabion/bronjong (c) panel beton pracetak dan (d) unit dinding blok modular

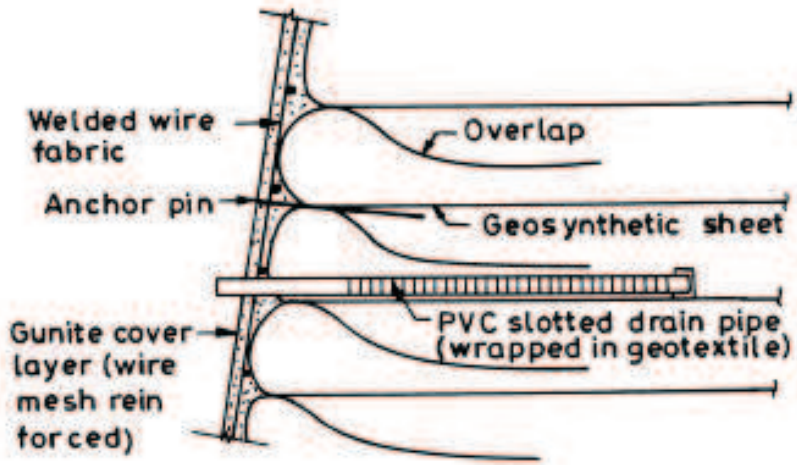
Elemen penutup muka dari geosintetik yang diselubungi *(wraparound)* cenderung memberikan deformasi yang relatif besar dan penurunan yang signifikan pada puncak yang menempel pada permukaan dinding. Di samping itu tampilannya tidak estetis karena memberikan gambaran rendahnya kualitas struktur. Akan tetapi penutup muka dari geosintetik

dinilai sebagai pilihan yang paling ekonomis dan telah banyak digunakan pada dinding penahan.

Untuk memperoleh ketebalan dinding sebesar 150 – 200 mm, elemen penutup muka dari geosintetik selalu disemprot dengan emulsi bitumen, mortar beton atau gunite (material yang serupa dengan mortar). Gambar 2-4 memperlihatkan ilustrasinya.

Anyaman kawat *(wire mesh)* yang diangker ke elemen penutup muka akan dibutuhkan untuk mencegah pelapisan *(coating)* permukaan dinding. Pelapisan ini melindunginya dari ekspos sinar ultraviolet, potensi vandalisme dan kemungkinan terjadinya kebakaran.

Apabila elemen penutup muka harus dipasang pada akhir konstruksi dinding, lalu beton semprot *(shotcrete),* panel beton cetak di tempat, panel beton pracetak dan panel kayu dapat dipasangkan ke tulangan baja di antara lapisan geosintetik dan permukaan dinding. Selain itu geogrid dan lapisan filter (geotekstil tak teranyam atau selimut tanah berbutir konvensional) juga dapat digunakan sebagai elemen lapisan penutup.



Gambar 2-4 : Perlindungan elemen penutup muka dari geotekstil

Unit dinding blok modular memiliki beberapa jenis paku geser *(insert)* yang menghasilkan kuncian mekanik dengan lapisan di atasnya. Unit dinding ini juga fleksibel dengan lekuk maupun sudut pada blok

modular. Dibandingkan dengan struktur-struktur konvensional, unit dinding blok modular dapat mentolerir penurunan diferensial yang besar.

Unit dinding blok modular terbuat dari beton dan diproduksi dalam berbagai ukuran, tekstur dan warna, sehingga menawarkan beragam pilihan bagi *engineer*. Gambar 2-5 memperlihatkan contoh-contoh unit dinding blok modular. Tipikal panjang unit adalah 240 – 450 mm, lebar unit 250 – 500 mm dan tinggi unit 150 – 200 mm. berat tiap unit bervariasi dari 25 sampai dengan 48 kg.

Gambar 2-5 : Contoh-contoh unit dinding blok modular dengan bentuk: (a) porcupine (b) keystone dan (c) geoblock

Dinding tanah yang diperkuat dengan geosintetik sangat fleksibel dan sesuai untuk lokasi yang memiliki tanah dasar lunak serta berada di area kegempaan yang aktif.

2.2. Pemilihan Sifat Teknis

2.2.1. Tanah Dasar

Seperti halnya lereng yang diperkuat, pemilihan tanah dasar untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik sebaiknya difokuskan pada penentuan daya dukung, potensi penurunan, dan posisi muka air tanah. Pemilihan sifat-sifat teknis tanah dasar harus

difokuskan untuk penentuan daya dukung, potensi penurunan, dan posisi muka air tanah. Penentuan kapasitas daya dukung membutuhkan parameter kohesi (c), sudut geser (ϕ) dan berat isi (γ) serta posisi muka air tanah. Untuk penentuan penurunan tanah dasar diperlukan parameter koefisien konsolidasi (c_v), indeks kompresibilitas (C_c) dan angka pori (e).

2.2.2. Tanah Timbunan yang Diperkuat

Seperti yang telah dijelaskan pada Modul Volume 3, pengetahuan dan pengalaman dengan lereng tahan yang diperkuat dan dinding penahan tanah selama ini hanyalah dengan menggunakan tanah timbunan berbutir (non-kohesif).

Oleh karena itu, bahan timbunan yang direkomendasikan adalah pada Tabel 2-3. Pilih material timbunan berbutir pada zona yang diperkuat. Seluruh material timbunan harus bebas dari material organik atau material perusak lainnya. Adapun acuan yang dapat digunakan untuk menilai keandalan hasil pengujian laboratorium terhadap tanah timbunan disajikan di Tabel 2-3.

Tanah harus dipadatkan hingga mencapai 95% berat isi kering (γ_d) pada kadar air optimum w_{opt}, ($\pm$ 2%). Spesifikasi pemadatan harus mencantumkan tebal penghamparan dan rentang kadar air yang diijinkan terhadap kadar air optimum. Cara pemadatan berbeda untuk daerah di dekat penutup muka (sekitar 1,5 sampai 2,0 m). Alat pemadat yang lebih ringan digunakan untuk pemadatan timbunan di dekat muka dinding. Hal ini bertujuan untuk mencegah timbulnya tekanan lateral yang tinggi serta mencegah bergeraknya panel penutup permukaan. Karena penggunaan alat pemadat yang lebih ringan maka disarankan untuk menggunakan bahan timbunan dengan kualitas lebih baik dari segi friksi dan drainase seperti batu pecah di dekat muka dinding.

Tabel 2-2: Beberapa Kisaran Nilai Sifat-sifat Indeks dan Mekanis Tanah

	Indeks Plastisitas	Berat Isi (kN/m^3)	Berat Isi Kering Max (kN/m^3)	c' (kpa)	ϕ' (deg)
Pasir Halus sampai Kasar	-	19-20	19	-	35-40
Pasir sedikit kelanauan, kelempungan	-	18-19	18	-	27-32.5
Tanah Merah	30-50	16-17.5	12.5*	10-25	20-40
Keterangan *: pada kadar air optimum 40%					

Tabel 2-3: Ketentuan Tanah Timbunan untuk Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geosintetik

Ukuran saringan	*Persen lolos*[a]
102 mm (4 inci)[a,b]	100
No. 40 (0,425 mm)	0 – 60
No. 200 (0,075 mm)	0 – 15
Indeks Plastisitas (PI) ≤ 6 mengacu ke SNI 03-1966-1990 (AASHTO T 90)	
Soundness : bahan harus bebas dari serpih atau tanah dengan durabilitas rendah lainnya. Bahan harus mempunyai suatu kehilangan ketahanan magnesium sulfat < 30% setelah 4 siklus atau sodium sulfat < 15% setelah 5 siklus (mengacu ke AASHTO T 104)	
Catatan: [a] Agar nilai baku F* dapat digunakan, Cu harus ≥ 4. [b] Direkomendasikan agar ukuran butir maksimum untuk bahan ini dikurangi sampai 19 mm (3/4 inci) untuk geosintetik serta perkuatan yang dilapisi epoksi dan PVC kecuali suatu pengujian telah atau akan dilakukan untuk mengevaluasi kerusakan saat pelaksanaan akibat suatu kombinasi jenis bahan dan perkuatan.	

Untuk dinding yang dibangun di atas material timbunan dengan persen lolos saringan No.200 (0,075 mm) lebih dari 15% dan/atau Indeks Plastisitas PI > 6, maka parameter kuat geser total dan efektif harus diperhitungkan. Kedua parameter ini dibutuhkan untuk memperoleh perkiraan keakuratan tegangan horizontal, gelincir, keruntuhan gabungan dan pengaruh drainase dalam analisis. Uji tahanan cabut jangka panjang dan jangka pendek harus dilakukan. Karakteristik

penurunan harus dievaluasi secara teliti. Syarat drainase di belakang penutup muka dan di bawah zona yang diperkuat harus dievaluasi (contohnya gunakan jaring aliran atau flow net untuk mengevaluasi gaya aliran air bawah permukaan dan tekanan hidrostatik).

Uji elektrokimia sebaiknya dilakukan pada tanah timbunan untuk mengevaluasi degradasi perkuatan. Pengendalian kadar air dan kepadatan selama masa konstruksi sangat diperlukan untuk mencapai nilai-nilai kekuatan dan interaksi yang diharapkan. Deformasi selama masa konstruksi juga harus dimonitor dengan seksama dan harus dijaga agar tetap tidak melebihi batasan-batasan yang disyaratkan. Monitoring kinerja juga disarankan untuk tanah timbunan di luar syarat yang disarankan pada Tabel 2-3.

2.2.3. Tanah Timbunan yang Ditahan

Ketentuan sifat-sifatnya sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3.

2.2.4. Sifat-sifat Elektrokimia

Ketentuan sifat-sifatnya sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3.

2.2.5. Sifat-sifat Geosintetik

2.2.5.1. Karakteristik Geometri

Ketentuan sifat-sifatnya sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3.

2.2.5.2. Sifat-sifat Kekuatan Geosintetik

Ketentuan sifat-sifatnya sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3. Kuat tarik per satuan lebar geosintetik yang diizinkan Ta untuk dinding ditentukan berdasarkan persamaan yang sama dengan lereng yang diperkuat, yaitu:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF \times FK} = \frac{T_{al}}{FK} \quad \text{..... [2-1]}$$

$$T_{al} = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D} \quad \text{..... [2-2]}$$

Berbeda dengan lereng yang diperkuat, struktur dinding yang permanen, menggunakan faktor keamananan keseluruhan minimum FK sebesar 1,5, sehingga $T_a = T_{al} / 1,5$ diperhitungkan dalam analisis stabilitas.

2.2.6. Interaksi tanah dan geosintetik

Sama halnya dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3, koefisen interaksi atau kuat geser permukaan antara tanah dan perkuatan yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan meliputi koefisen cabut dan koefisen gesekan antar permukaan.

2.2.6.1. Evaluasi kinerja tahanan cabut;

Penentuan tahanan cabut perkuatan geosintetik pada dinding menggunakan ketentuan-ketentuan yang sama dengan lereng yang diperkuat (lebih jelasnya lihat Modul Volume 3).

2.2.6.2. Perhitungan Tahanan Cabut;

Ketentuan perhitungan tahanan cabut sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3. Faktor tahanan cabut diperoleh melalui persamaan: $F^* = 2/3 \tan \phi$. Jika data hasil pengujian tidak tersedia, maka besarnya ϕ untuk dinding dapat diambil sebesar 34°.

2.2.6.3. Gesekan antar permukaan.

Ketentuan sifat-sifatnya sama dengan lereng tanah yang diperkuat pada Modul Volume 3.

2.3. Soal Latihan

1. Apakah jenis geosintetik yang dapat digunakan sebagai perkuatan pada dinding penahan tanah yang diperkuat ?

   (a) Geotekstil tak teranyam

   (b) Geotekstil teranyam

   (c) Geonet

   (d) Geomembran

2. Tanah fondasi yang diperkuat dengan geosintetik dapat digunakan untuk

   (a) Meningkatkan daya dukung

   (b) Mengurangi penurunan

   (c) (a) dan (b) benar

   (d) Tidak ada jawaban yang benar

3. Jelaskan komponen-komponen dasar dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik.

4. Bagaimana caranya agar elemen penutup muka geotekstil dapat tahan terhadap sinar ultraviolet ?

3 Analisis dan Desain Perkuatan

Desain dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik sudah banyak dilakukan. Sejumlah pendekatan desain telah dibuat, dan yang paling umum digunakan adalah pendekatan desain berbasis analisis kesetimbangan batas.

3.1. Pengantar

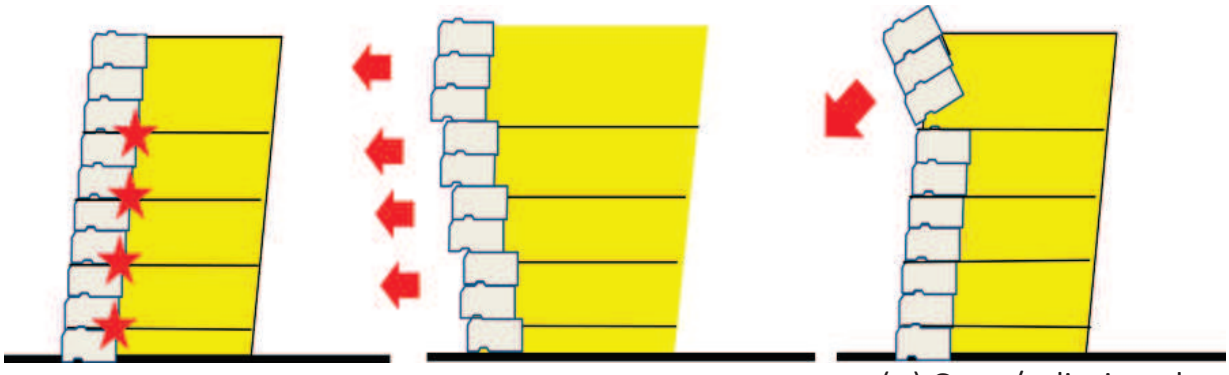
Dinding penahan tanah konvensional (sistem gravitasi dan kantilever) yang terbuat dari mansory dan beton yang menahan tekanan tanah lateral dengan massanya yang besar. Dinding tersebut bekerja sebagai unit kaku dan telah digunakan secara luas selama bertahun-tahun. Meskipun demikian, sejak tahun 1960an dikenalkan jenis penahan tanah baru dengan menggunakan pita besi yang diperpanjang dari panel penutup muka ke tanah di belakangnya. Penahan ini selain berfungsi untuk mengikut elemen penutup muka juga menahan geser antara tanah timbunan dan pita perkuatan.

Tanah timbunan menghasilkan tekanan tanah lateral dan berinteraksi dengan pita besi untuk menahannya. Dinding sangat fleksibel dibandingkan dengan dinding gravitasi konvensional. Jenis-jenis perkuatan dinding penahan tanah sudah dijelaskan dengan detail beserta elemen penutup mukanya pada Pasal 2 dalam modul ini. Untuk selanjutnya, pada pasal ini akan dibahas mengenai analisis dandesain dinding penahan tanah, khusus untuk yang diperkuat dengan geotekstil dan geogrid saja.

3.2. Konsep Dasar Analisis

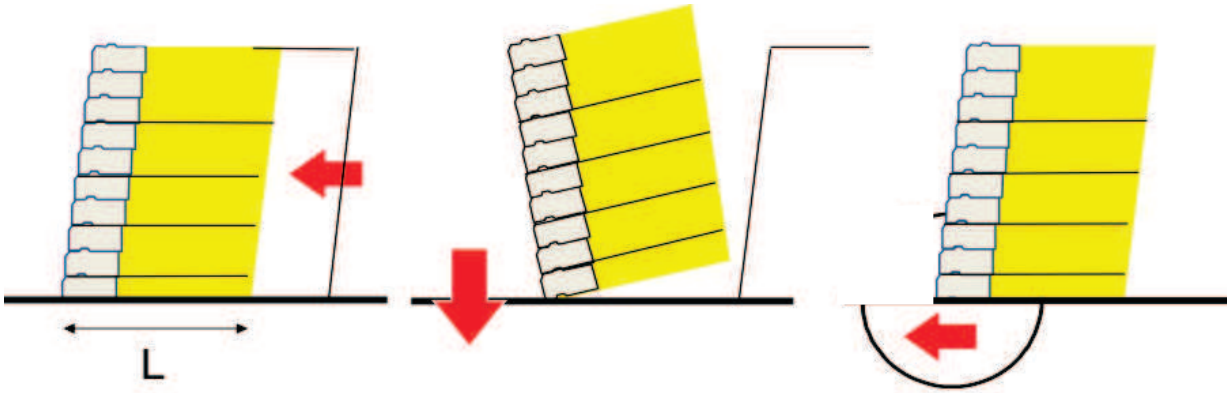
Analisis kesetimbangan batas memiliki tiga konsep dasar.

1. Analisis stabilitas internal atau disebut juga analisis stabilitas lokal maupun tieback analysis. Analisis ini mengasumsikan penggunaan bidang keruntuhan Rankine, dengan mempertimbangkan kemungkinan model keruntuhan massa tanah yang diperkuat dengan geosintetik. Model-model keruntuhan tersebut adalah: geosynthetic rupture, tercabutnya (pullout) geosintetik, kegagalan koneksi (dan/atau elemen penutup muka) dan rangkak. Analisis ini terutama difokuskan kepada penentuan tahanan tarik dan rangkak geosintetik, panjang geosinteti dan keutuhan elemen penutup muka (Gambar 3-1).
2. Analisis stabilitas eksternal atau disebut juga analisis stabilitas global. Analisis ini dilakukan untuk mengecek gelincir (sliding) pada fondasi, guling (overturning) pada titik resultan gaya, keruntuhan daya dukung dan keruntuhan keseluruhan lereng (deep seated slope failure)(Gambar 3-2).
3. Analisis sistem penutup muka, termasuk pemasangannya pada perkuatan (Gambar 3-3).



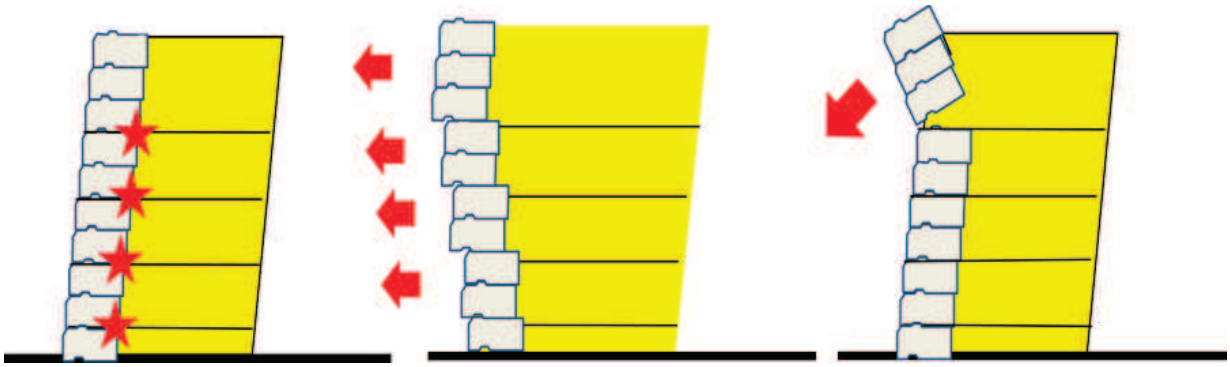
(a) Cabut (b)Tarik (c) Geser/gelincir pada koneksi elemen penutup muka

Gambar 3-1: Model keruntuhan internal



(a) Gelincir (b) Guling (c) Keruntuhan daya dukung

Gambar 3-2: Model keruntuhan eksternal



(a) Kegagalan pada koneksi elemen penutup muka (b) Keruntuhan geser kolom (c) Terguling *(Toppling)*

Gambar 3-3: Model keruntuhan elemen penutup muka

3.3. Desain dengan Geotekstil Tanpa Beban Tambahan

Ketiga ilustrasi di atas menunjukkan dinding penahan yang diperkuat dengan geotekstil tanpa adanya beban tambahan *(surcharge)* maupun beban hidup *(live load)*. Tanah timbunan di belakang dinding merupakan tanah berbutir yang homogen. Berdasarkan teori tekanan tanah aktif Rankine, tekanan tanah aktif (σ_a), pada kedalaman z dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma_a = K_a \sigma_{v=} K_a \gamma_b z \quad \text{..... [3-1]}$$

dimana:

K_a adalah koefisien tekanan tanah Rankine

γ_b adalah berat isi tanah timbunan berbutir

K_a dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_a = tan^2\left(45^\circ - \frac{\psi_b}{2}\right) \quad \text{..... [3-2]}$$

dimana:

ϕ_b adalah sudut geser tanah timbunan berbutir

Faktor keamanan terhadap keruntuhan geotekstil *(geotextile rupture)* pada kedalaman z dinyatakan dengan persamaan:

$$FS_R = \frac{\sigma_G}{\sigma_a S_v} \quad \text{.....[3-3]}$$

dimana:

σ_G adalah kekuatan izin geotekstil (kN/m)

S_v adalah spasi vertikal lapisan geotekstil pada kedalaman z (m)

Besaran $FS_{(R)}$ umumnya adalah 1,3 – 1,5. Lapisan geotekstil pada kedalaman z akan gagal akibat tercabut *(pullout)* atau bisa juga disebut kegagalan ikatan *(bond failure)* apabila tahanan geser yang terjadi di sepanjang permukaannya lebih kecil daripada gaya yang bekerja. Jenis keruntuhan tersebut timbul pada saat panjang perkuatan geotekstil tidak mencukupi untuk mencegah slip dengan tanah.

Panjang efektif lapisan geotekstil (l_e) di sepanjang terbentuknya tahanan geser dapat dianggap sebagai panjang yang melebihi zona keruntuhan aktif Rankine atau zona ABC pada Gambar.

Faktor kemanan terhadap cabut geosintetik *(geosynthetics pullout)*pada kedalaman z dinyatakan dengan persamaan:

$$FS_{(P)}=\frac{2l_e\sigma_v tan\phi_r}{S_v\sigma_a} \quad \text{.....[3-4]}$$

dimana:

ϕ_r adalah sudut geser antar muka tanah-geosintetik, nilainya mendekati $2\phi_b/3$.

Besaran $FS_{(P)}$ umumnya adalah 1,3 – 1,5. Tebal lapisan geoteksil di dalam zona keruntuhan Rankine dihitung dengan persamaan:

$$l_e = \frac{S_v K_a[FS_{(P)}]}{2tan\phi_r} \quad \text{..... [3-5]}$$

dimana:

S_v spasi vertikal dari lapisan geotekstil pada kedalaman z (m)

l_e lapisan geotekstil di dalam zona keruntuhan Rankine dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$l_r = \frac{H-z}{tan(45^\circ+\phi_b/2)} \quad \text{..... [3-6]}$$

dimana:

H adalah tinggi dinding penahan

Tinggi total lapisan geotekstil pada kedalaman z, adalah:

$$l = l_e + l_r = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2tan\phi_r} + \frac{H-z}{tan(45^\circ+\phi_b/2)} \quad \text{..... [3-7]}$$

Kombinasi keruntuhan geotekstil dan keruntuhan cabut dapat terjadi, tergantung kepada geometri struktur, beban-beban eksternal dan lain-lain. Biasanya di bagian bawah dinding penahan, perkuatan geotekstil akan hancur *(rupture)* akibat kurangnya kekuatan dan cabut pada bagian atas terjadi akibat panjang geotekstil tidak mencukupi.

Untuk perencanaan elemen penutup muka, dapat diasumsikan bahwa tegangan di permukaan sama dengan tegangan horisontal maksimum di dalam timbunan yang diperkuat dengan geosintetik.

Untuk elemen penutup muka kaku (rigid), tegangan di sekitar penutup muka dan bidang keruntuhan potensial tidak memiliki perbedaan secara signifikan. Untuk elemen penutup muka yang fleksibel, tegangan di sekitar penutup muka lebih rendah daripada tegangan di bidang keruntuhan potensial. Jika digunakan penutup muka dari geosintetik yang dilipat (diselubungi) *(wraparound)*, maka panjang lipatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{4tan\phi_r} \quad \text{..... [3-8]}$$

Secara garis besar, prosedur perencanaan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik dengan **elemen penutup muka selubung geotekstil vertikal, tanpa penambahan beban**, dijelaskan melalui langkah-langkah berikut:

Langkah 1: Tentukan tinggi dinding (H).

Langkah 2: Tetapkan parameter tanah timbunan berbutir, sepeti berat isi (γ_b) dan sudut geser (ϕ_b).

Langkah 3: Tetapkan parameter tanah fondasi, seperti berat isi (γ) dan parameter kuat geser (c dan ϕ).

Langkah 4: Tetapkan sudut geser lapis antar muka *(interface)* tanah-geosintetik (ϕ_r).

Langkah 5: Perkirakan koefisien tekanan tanah Rankine dari persamaan [3-1]

Langkah 6: Pilih geotekstil yang memenuhi kekuatan material izin (σ_G)

Langkah 7: Tetapkan spasi vertikal lapisan geotekstil pada berbagai kedalaman dengan menggunakan persamaan [3-3].

Langkah 8: Tetapkan panjang lapisan geotekstil (l) pada berbagai kedalaman dengan menggunakan persamaan [3-7].

Langkah 9: Tetapkan panjang lipatan (l_l) pada berbagai kedalaman dengan menggunakan persamaan [3-8].

Langkah 10: Cek faktor keamanan terhadap stabilitas eksternal, yang meliputi geser, guling, keruntuhan daya dukung akibat beban dan keruntuhan lereng keseluruhan dengan mengacu kepada perhitungan/desain dinding penahan konvensional. Asumsi yang digunakan adalah massa tanah yang diperkuat dengan geosintetik bekerja sebagai *rigid body*, mengesampingkan fakta bahwa sebenernya massa tanah adalah fleksibel.

Nilai faktor keamanan minimum terhadap geser: 1,5
Nilai faktor keamanan minimum terhadap guling: 2,0
Nilai faktor keamanan minimum terhadap keruntuhan daya dukung: 2,0

Nilai faktor keamanan minimum terhadap keruntuhan global : 1,5

Langkah 11: Cek persyaratan drainase timbunan dan kontrol limpasan air permukaan *(surface runoff control)*

Langkah 12: Cek penurunan total dan penurunan diferensial dinding penahan tanah di sepanjang dinding dengan mengacu kepada perhitungan penurunan dengan metode konvensional.

CONTOH PERHITUNGAN:

Berikut ini adalah contoh perhitungan dimana penambahan beban tidak dipertimbangkan.

Diketahui:

Tinggi dinding penahan, H = 8 m

Parameter tanah timbunan berbutir

Berat isi, γ_b = 17 kN/m^3

Sudut geser dalam, ϕ_b = 35°

Kekuatan izin geotekstil, σ_G = 20 kN/m

Faktor keamanan terhadap keruntuhan geotekstil = 1,5

Faktor keamanan terhadap cabut geotekstil = 1,5

Hitung panjang lapisan geotekstil, spasi antar lapisan dan panjang lipatan pada kedalaman z = 2 m, 4 m dan 8 m.

Penyelesaian:

Dari persamaan [3-1], diperoleh koefisien tekanan tanah Rankine sebesar:

$$K_a = tan^2\left(45° - \frac{35°}{2}\right) = 0{,}27$$

Pada kedalaman z = 2m, dan dengan menggunakan persamaan [3-5] diperoleh spasi vertikal geotekstil, sebesar:

$$S_v = \frac{\sigma_G}{\sigma_a FS_{(R)}} = \frac{20}{17 \times 2 \times 0{,}27 \times 1{,}5} = 1{,}45\ m.$$

Dari persamaan [3-7],

$$l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2\ tan\ \phi_r} + \frac{H - z}{tan(45° + \phi_b/2)}$$

$$= \frac{1{,}45 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{2 \times tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} + \frac{8 - 2}{tan(45° + 35°/2)}$$

$$= 0{,}68\ m + 3{,}12\ m = 3{,}80\ m.$$

Dari persamaan [3-8],

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{4\ tan\ \phi_r} = \frac{1{,}45 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{4 \times tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} = 0{,}34\ m.$$

Pada kedalaman z = 4 m, dengan menggunakan persamaan [3-5],

$$S_v = \frac{\sigma_G}{\sigma_a FS_{(R)}} = \frac{20}{17 \times 4 \times 0{,}27 \times 1{,}5} = 0{,}73\ m.$$

Dari persamaan [3-7],

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2\ tan\ \phi_r} + \frac{H - z}{tan(45° + \phi_b/2)}$$

$$= \frac{0{,}73 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{2 \times tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} + \frac{8 - 4}{tan(45° + 35°/2)}$$

$$= 0{,}34\ m + 2{,}08\ m = 2{,}42\ m.$$

Dari persamaan [3-8],

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{4 \tan \phi_r} = \frac{0{,}73 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{4 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} = 0{,}17\ m.$$

Pada kedalaman z = 8 m, dengan menggunakan persamaan [3-3],

$$S_v = \frac{\sigma_G}{\sigma_a FS_{(R)}} = \frac{20}{17 \times 8 \times 0{,}27 \times 1{,}5} = 0{,}36\ m.$$

Dari persamaan [3-7],

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2 \tan \phi_r} + \frac{H - z}{\tan(45° + \phi_b/2)}$$

$$= \frac{0{,}36 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{2 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} + \frac{8 - 8}{\tan(45° + 35°/2)}$$

$$= 0{,}17\ m + 0\ m = 0{,}17\ m.$$

Dari persamaan [3-8],

$$l_l = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{4 \tan \phi_r} = \frac{0{,}36 \times 0{,}27 \times 1{,}5}{4 \times \tan\left(\frac{2}{3} \times 35°\right)} = 0{,}08\ m.$$

Dengan mempertimbangkan kondisi lapangan dan penyederhanaan pada saat konstruksi, dapat digunakan S_v = 0,5 m, l = 5 m, l_1 = 1 m untuk z ≤ 4 m, dan S_v = 0,3 m, l = 2,5 m, l_1 = 1 m untuk z > 4 m.

Perlu diperhatikan bahwa spasi perkuatan tipikal untuk dinding dengan selubung geotekstil bervariasi antara 0,2 m dan 0,5 m. Untuk spasi lebih besar daripada 0,6 m, kecuali permukaan dindingnya kaku, lapisan geotekstil di tengah-tengah *(intermediate geotextile layer)* akan dibutuhkan untuk mencegah gembungan *(bulging)* permukaan dinding yang berlebihan antar lapisan geotekstil.

3.4. Desain Geotekstil dengan Beban Tambahan

Desain yang mengakomodir beban tambahan diadaptasi untuk dinding yang diperkuat dengan geotekstil. Tahapan desain secara garis besar mempertimbangkan 3 hal berikut:

1. Stabilitas internal, dihitung terlebih dahulu untuk menentukan spasi, panjang dan jarak tumpang tindih geotekstil.
2. Stabilitas eksternal terhadap guling, geser (gelincir), dan keruntuhan tanah dasar.
3. Pertimbangan lainnya termasuk detail elemen penutup muka dinding dan drainase luar.

3.4.1. Cek Stabilitas Internal

Untuk menentukan jarak antar lapisan geotekstil, tekanan tanah diasumsikan terdistribusi linier dengan menggunakan kondisi tekanan tanah aktif Rankine untuk tanah timbunan dan kondisi "at rest" untuk bebannya. Dengan menggunakan teori Boussinesq, dapat dihitung tekanan lateral tanah dengan persamaan berikut:

$$\sigma_{hs} = K_a \gamma z \quad \text{[3-9]}$$

$$\sigma_{hq} = K_a q \quad \text{[3-10]}$$

$$\sigma_{hl} = P \frac{x^2 z}{R^5} \quad \text{[3-11]}$$

$$\sigma_h = \sigma_{hs} + \sigma_{hq} + \sigma_{hl} \quad \text{[3-12]}$$

dimana:

σ_{hs} adalah tekanan lateral akibat tanah

K_a adalah $\tan^2 (45 - \phi/2)$ = koefisien tekanan tanah aktif, dimana

ϕ adalah sudut geser dalam tanah timbunan

γ adalah berat isi timbunan

z adalah kedalaman dari permukaan tanah ke lapisan tanah dimaksud

σ_{hq} adalah tekanan lateral akibat beban tambahan *(surcharge)*

q adalah $\gamma_d D$ = beban tambahan di atas pemukaan tanah

γ_q adalah berat isi tanah beban tambahan

D adalah kedalaman tanah beban tambahan

σ_{hl} adalah tekanan lateral akibat beban hidup

P adalah beban hidup

x adalah jarak horisontal beban ke dinding

R adalah jarak radial dari titik beban (dimana tekanan dihitung)

σ_h adalah tekanan tanah total, kumulatif atau lateral di atas dinding

Perhitungan σ_{hs} dan σ_{hq} dilakukan secara langsung, namun σ_{hl} tidak, karena sulitnya menentukan titik berat jika beban yang diperhitungkan adalah misalnya truk gandeng. Untuk mempermudah perhitungan, Gambar 3-4 dapat dijadikan acuan.

Dengan demikian, ketebalan lapisan bisa dihitung dengan persamaan berikut.

$$\sigma_h S_v = \frac{T_{allow}}{FS} \quad \text{[3-13]}$$

$$S_v = \frac{T_{allow}}{\sigma_h FS} \quad \text{[3-14]}$$

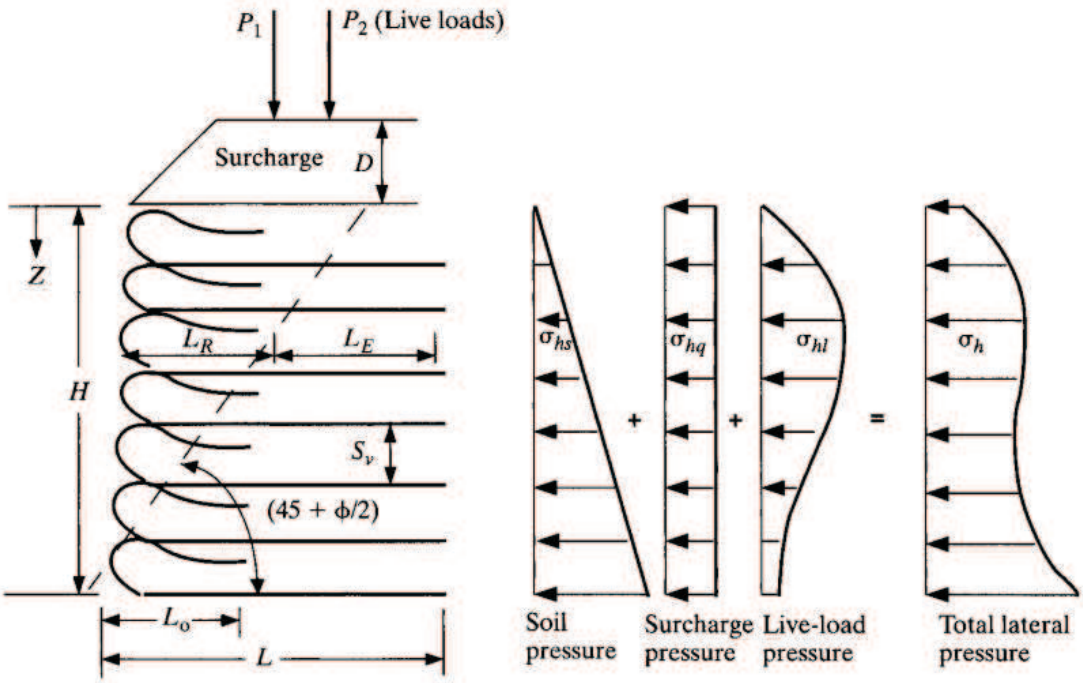
dimana:

S_v adalah spasi vertikal (tebal lapisan)

T_{allow} adalah tekanan izin di dalam geosintetik

σ_h adalah tekanan tanah lateral total pada kedalaman tertentu

FS adalah faktor keamanan (1,3 – 1,5 untuk T_{allow} pada persamaan di atas)



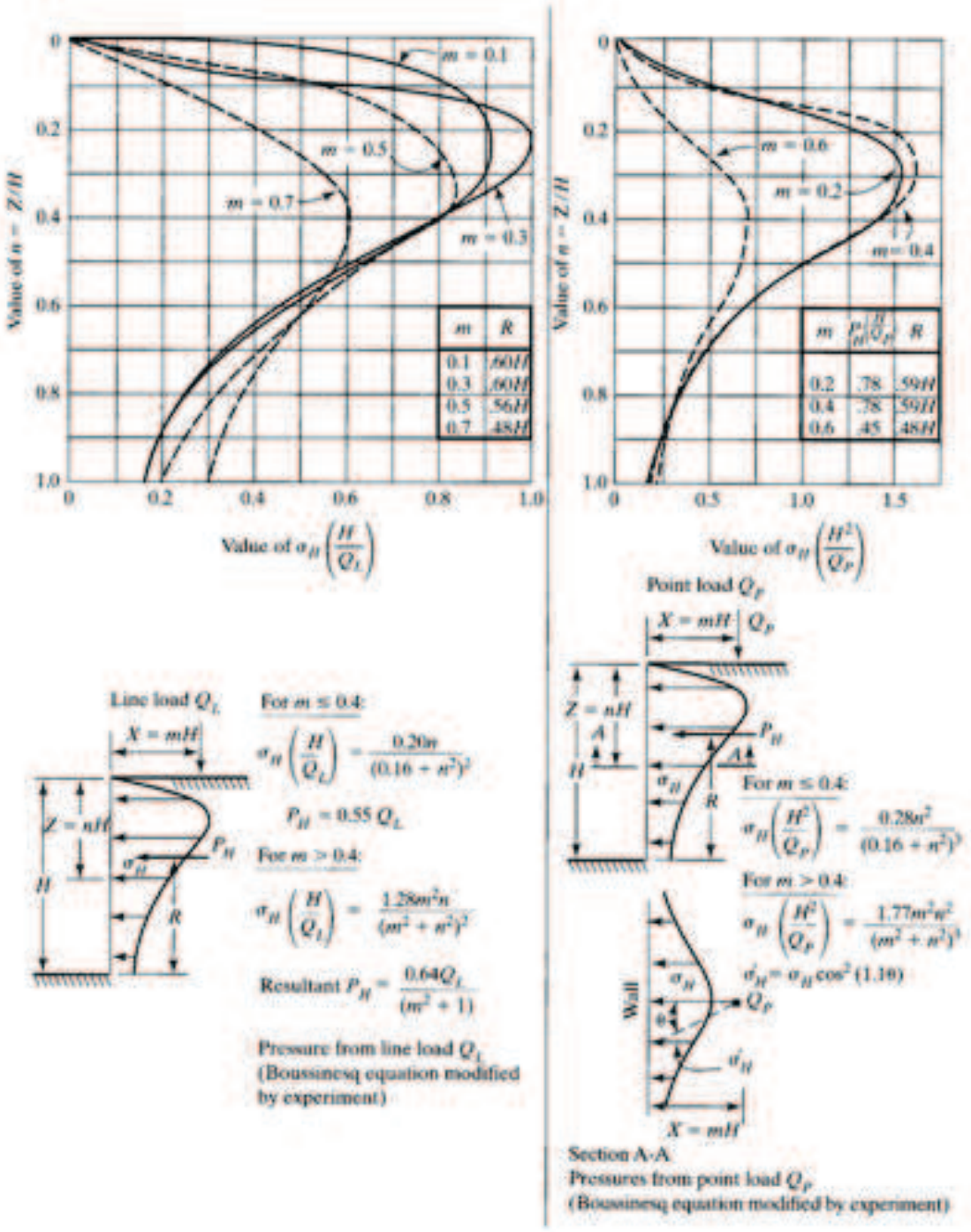
Gambar 3-4 : Konsep tekanan tanah dan desain dinding penahan dengan geotekstil

Panjang pembenaman (L_e) lapisan geotekstil pada zona pengangkuran dapat dihitung dengan persamaan berikut, dengan L adalah panjang total dan L_R adalah panjang geotekstil yang dianggap tidak bekerja (berkontribusi).

$$L = L_e + L_R \quad \text{.....[3-15]}$$

atau

$$L_R = (H - z)tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \text{.....[3-16]}$$



Gambar 3-5: Tekanan tanah lateral akibat beban permukaan, gambar kiri adalah beban merata, gambar kanan adalah beban terpusat

Spasi vertikal dihitung dengan persamaan berikut:

$S_v \sigma_h FS = 2\tau L_e$ ..... [3-17]

$$= 2(c_a + \sigma_v tan\delta)L_e$$

$$= 2(c_a + \gamma Z tan\delta)L_e$$

$$L_e = \frac{S_v \sigma_h FS}{2(c_a + \gamma Z tan\delta)}$$ ..... [3-18]

dimana:

τ adalah kuat geser tanah terhadap geotekstil

L_e adalah panjang pembenaman yang dibutuhkan (minimum 1 m)

S_v adalah spasi vertikal atau tebal lapisan

σ_h adalah tekanan tanah lateral total pada kedalaman yang dipertimbangkan

FS adalah faktor keamanan

γ adalah berat isi timbunan

Z adalah kedalaman dari muka tanah

δ adalah sudut geser tanah-geosintetik

Jarak tumpang tindih (overlap) geosintetik (L_o) dihitng dengan persamaan berikut:

$$L_o = \frac{S_v \sigma_h FS}{4(c_a + \gamma Z tan\delta)}$$ ..... [3-19]

dimana:

L_o adalah panjang tumpang tindih yang dibutuhkan (minimum 1 m)

3.4.2. Cek Stabilitas Eksternal

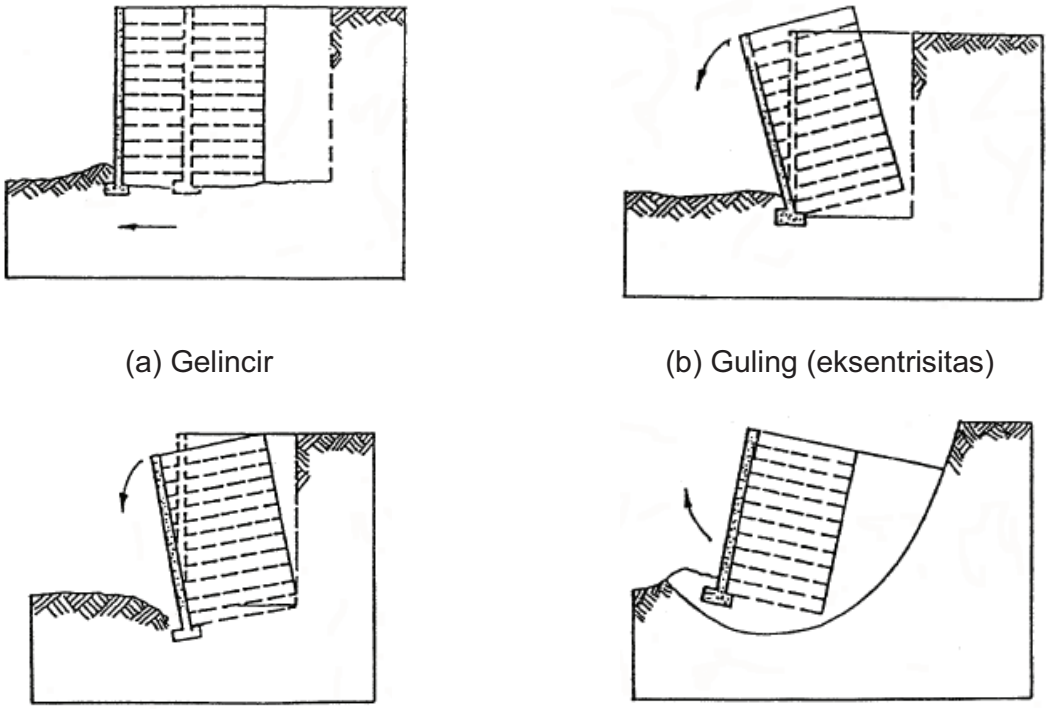
3.4.2.1. Penentuan Dimensi untuk Stabilitas Eksternal

Untuk struktur penahan gravitasi atau semi gravitasi yang umum digunakan, empat mekanisme keruntuhan eksternal potensial harus dipertimbangkan dalam menentukan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3-6. Keempat mekanisme tersebut adalah:

1. Geseran pada pondasi;
2. Guling pada titik resultan seluruh gaya;
3. Daya dukung;
4. Stabilitas keseluruhan.

Akibat fleksibilitas dan kinerja lapangan dinding yang baik, pada kondisi tertentu nilai faktor keamanan keruntuhan eksternal yang dipilih lebih rendah daripada yang diperoleh untuk kantilever atau dinding gravitasi beton yang diperkuat. Sebagai contoh faktor keamanan kapasitas daya dukung dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik adalah 2,5 sedangkan faktor keamanan struktur yang lebih kaku biasanya lebih tinggi.

Selain itu, fleksibilitas struktur dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik juga memperkecil potensi keruntuhan guling. Meskipun demikian, kriteria guling (eksentrisitas maksimum yang diizinkan) membantu dalam mengontrol deformasi dengan membatasi kemiringan.



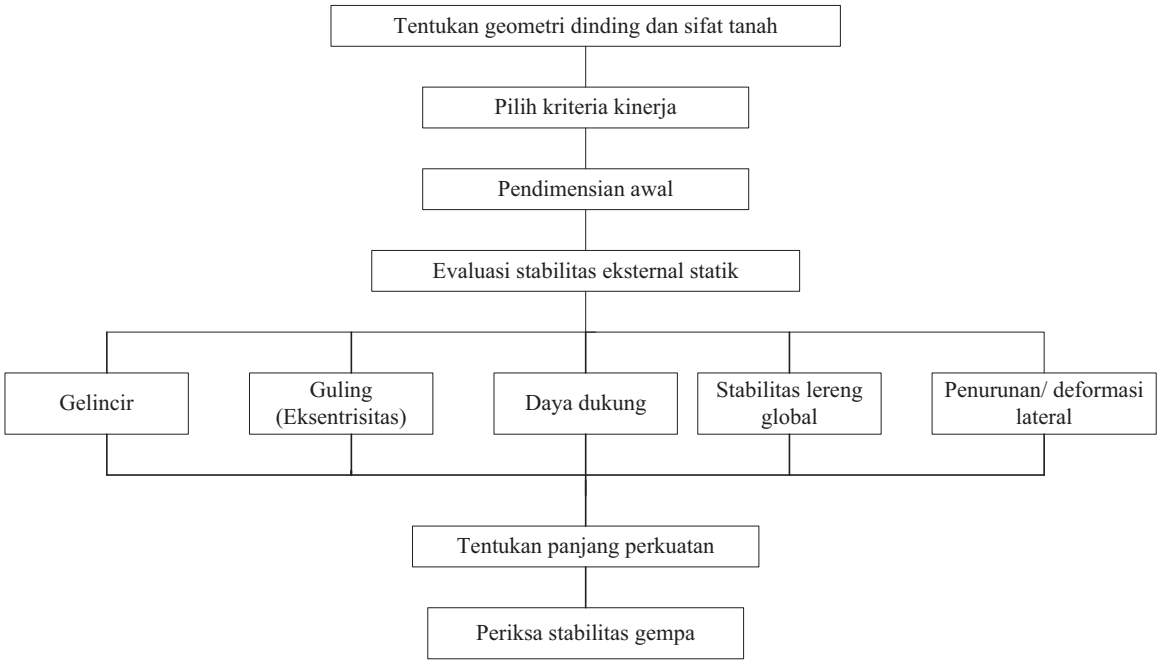
(a) Gelincir (b) Guling (eksentrisitas)

(c) Daya dukung (d) Stabilitas lereng global (rotasi)

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3-6 : Mekanisme keruntuhan eksternal untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik

Urutan perhitungan stabilitas eksternal diilustrasikan secara skematis pada Gambar 3-7.



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3-7 : Bagan alir perhitungan stabilitas eksternal

Tahapan prosedur perencanaan adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Tentukan geometri dinding dan sifat tanah.

1. Parameter yang harus dipertimbangkan meliputi:
2. Tinggi dan kemiringan dinding;
3. Beban tambahan (beban hidup, beban mati, tanah);
4. Beban gempa;
5. Sifat teknik tanah pondasi (γ, c, ϕ);
6. Sifat teknik tanah yang diperkuat (γ_r, c_r, ϕ_r);
7. Sifat teknik timbunan yang ditahan (γ_f, c_f, ϕ_f);
8. Kondisi air tanah.

Langkah 2: Pilih kriteria kinerja.

Kriteria kinerja yang dipilih meliputi:

1. Faktor stabilitas eksternal;
2. Faktor keamanan stabilitas keseluruhan;
3. Penurunan diferensial maksimum;
4. Perpindahan horizontal maksimum;
5. Faktor keamanan stabilitas gempa;
6. Umur rencana

Langkah 3: Tentukan dimensi awal.

Proses penentuan suatu struktur dimulai dengan memperkirakan kebutuhan panjang geosintetik yang akan ditanamkan untuk menentukan tinggi dinding.

Panjang awal perkuatan terpilih harus lebih besar daripada 0,7 H dan 2,5 m, dimana H merupakan tinggi rencana struktur. Struktur dengan beban timbunan tambahan yang miring atau beban terpusat lainnya (seperti pada timbunan abutmen) umumnya membutuhkan perkuatan yang lebih panjang agar stabil, yaitu antara 0,8 H sampai dengan 1,1 H.

Langkah 4: Hitung tekanan Tanah untuk Stabilitas Eksternal.

Tekanan Tanah Aktif;

Perhitungan stabilitas untuk dinding dengan muka vertikal dilakukan dengan mengasumsikan massa struktur dinding berperilaku sebagai badan kaku dengan tekanan tanah bekerja pada bidang vertikal dimulai dari ujung belakang perkuatan seperti diperlihatkan pada Gambar 3-8 sampai dengan Gambar 3-9.

Koefisen tekanan tanah aktif (K_a) untuk dinding vertikal (didefinisikan sebagai dinding dengan kemiringan muka kurang dari 8 derajat) dan lereng belakang horizontal dihitung menggunakan:

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad \text{.....[3-20]}$$

Sedangkan untuk dinding vertikal yang mendapat beban lereng menggunakan persamaan berikut:

$$K_a = \cos\beta\left[\frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}\right] \quad \text{.....[3-21]}$$

dengan pengertian β adalah sudut lereng yang membebani.

Untuk kondisi beban lereng yang patah (terbatas), sudut I digantikan dengan sudut β jika beban lereng tak terhingga (lihat Gambar 3-8).

Untuk muka depan dinding dengan kemiringan lebih besar dari 8° seperti terlihat pada Gambar 3-8, koefisen tekanan tanah dihitung dari teori Coulomb:

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi)}{\sin^2\theta \sin(\theta - \delta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta - \delta)\sin(\theta + \beta)}}\right]^2} \quad \text{.....[3-22]}$$

dengan pengertian:

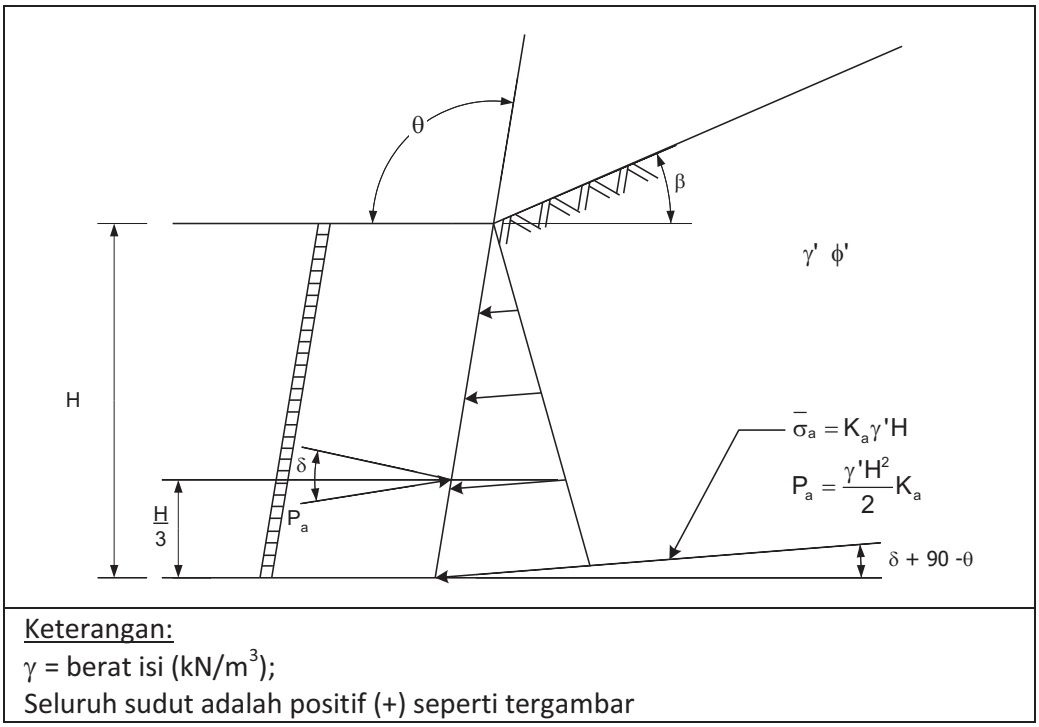
K_a adalah koefisien tekanan tanah aktif;

θ adalah kemiringan muka dinding terhadap horizontal (derajat);

ϕ adalah sudut geser (derajat);

δ adalah sudut geser dinding (derajat); diasumsikan $\delta = \beta$; tetapi $\delta \leq 2/3\ \phi$

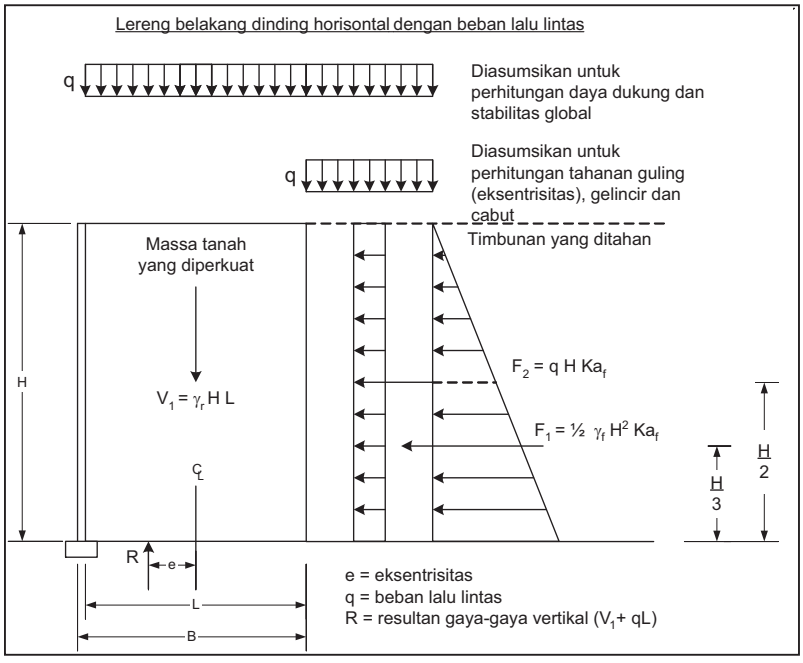
β adalah sudut beban lereng (derajat).



Keterangan:
γ = berat isi (kN/m^3);
Seluruh sudut adalah positif (+) seperti tergambar

(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3-8: Perhitungan Tekanan Tanah Aktif (Analisis Coulomb)



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3-9 : Analisis Eksternal untuk Lereng Belakang Dinding Horizontal dengan Beban Lalu Lintas

Langkah 5: Hitung stabilitas gelincir.

Periksa pendimensian awal yang mempertimbangkan gelincir pada lapisan pondasi.

$$\text{Fk geser} = \frac{\sum \text{gaya - gaya tahanan horisontal}}{\sum \text{gaya - gaya pendorong horisontal}} = \frac{\sum P_R}{\sum P_d} \geq 1{,}5 \quad \text{.....[3-23]}$$

Gaya tahanan merupakan yang terkecil dari gaya geser sepanjang dasar dinding atau lapisan lunak dekat dasar dinding, dan gaya geser adalah komponen horizontal dari gaya yang bekerja pada bidang vertikal di bagian belakang dinding (lihat Gambar 3-9).

Catatan, tekanan tanah pasif pada kaki dinding akibat pembenaman tidak diperhitungkan karena tanah tersebut berpotensi untuk hilang karena pekerjaan manusia atau proses alami selama umur layannya (misalnya erosi, pembuatan ulititas, dan sebagainya). Kuat geser sistem penutup muka juga secara konservatif diabaikan.

Beban tambahan lainnya dapat berupa beban hidup dan beban mati.

Langkah 6: Cek keruntuhan daya dukung.

Moda keruntuhan daya dukung terdiri dari keruntuhan geser keseluruhan dan keruntuhan geser lokal. Geser lokal ditandai dengan adanya peremasan (*squeezing*) tanah pondasi apabila terdapat tanah lunak atau bersifat lepas di bawah dinding.

Geser global (*general shear*)

Untuk mencegah terjadinya keruntuhan daya dukung, tegangan vertikal pada dasar pondasi yang dihitung dengan distribusi tipe Meyerhoff tidak melebihi daya dukung izin tanah pondasi yang telah ditentukan, dengan mempertimbangkan faktor keamanan sebesar 2,5.

$$\sigma_v \leq q_u = \frac{q_{ult}}{FK} \quad \text{.....[3-23]}$$

Faktor keamanan sebesar 2,0 dapat digunakan jika telah melalui suatu analisis geoteknik dengan memperhitungkan penurunan dan dapat membuktikan bahwa faktor keamanan tersebut dapat diterima.

Langkah 7: Cek stabilitas global.

Stabilitas global ditentukan dengan menggunakan analisis baji *(wedge analysis)* atau rotasional, tergantung mana yang sesuai, yang dapat dilakukan dengan metode analisis stabilitas lereng klasik. Dinding tanah yang diperkuat dianggap sebagai bagian yang kaku dan hanya bidang-bidang keruntuhan yang terjadi di luar massa tanah tersebut yang dipertimbangkan.

Untuk struktur sederhana dengan geometri segiempat, spasi perkuatan yang relatif seragam dan bagian depan dinding yang hampir tegak, keruntuhan gabungan yang melalui kedua zona yang diperkuat dan tak diperkuat biasanya tidak kritis. *Meskipun demikian, untuk kondisi yang kompleks (misalnya terdapat perubahan jenis atau panjang perkuatan, beban tambahan yang besar, struktur dengan muka miring, kemiringan yang curam pada kaki atau puncak dinding, atau struktur bertumpuk), maka keruntuhan gabungan harus diperhitungkan*.

Apabila faktor keamanan minimum lebih kecil daripada yang dianjurkan yaitu minimum sebesar 1,3, maka perbesar panjang perkuatan atau perbaiki tanah pondasi.

Langkah 8: Hitung pembebanan gempa.

Selama berlangsungnya gempa, timbunan yang ditahan mengeluarkan gaya horizontal dinamik (P_{AE}) selain gaya statik. Di samping itu, massa tanah yang diperkuat akan menerima gaya inersia horizontal (P_{IR}) yang diperoleh melalui persamaan berikut:

$$P_{IR} = M \,.\, A_m \quad [3\text{-}24]$$

dengan pengertian:

M = massa bagian aktif dinding yang diperkuat, diasumsikan pada lebar dasar dinding sebesar 0,5 H

A_m = percepatan horizontal maksimum respon pada tanah yang diperkuat

Gaya P_{AE} dapat dievaluasi dengan analisis Mononobe–Okabe dan ditambah gaya statik yang bekerja pada dinding (gaya berat, gaya tambahan dan gaya statik). Kemudian stabilitas dinamik dievaluasi dengan mempertimbangkan stabilitas eksternal.

Faktor keamanan dinamik minimum diasumsikan sebesar 75% dari faktor keamanan statik. Persamaan [24] dibentuk dengan asumsi bahwa timbunan belakang adalah dinding horizontal, sudut geser $\phi = 30^\circ$ dan juga dapat disesuaikan untuk nilai sudut geser lainnya dengan menggunakan metode Mononobe-Okabe. Pada asumsi ini percepatan horizontal sama dengan A_m dan percepatan vertikal sama dengan nol.

Langkah-langkah evaluasi stabilitas eksternal gempa adalah sebagai berikut:

Pilih percepatan tanah horizontal puncak berdasarkan gempa rencana. Koefisen percepatan tanah diberi notasi A;

Hitung percepatan maksimum A_m, yang terjadi pada dinding dengan persamaan berikut:

$$Am = (1{,}45 - A)\, A \quad [3\text{-}25]$$

dengan pengertian:

A = koefisen percepatan tanah maksimum setelah dibagi percepatan gravitasi (g)

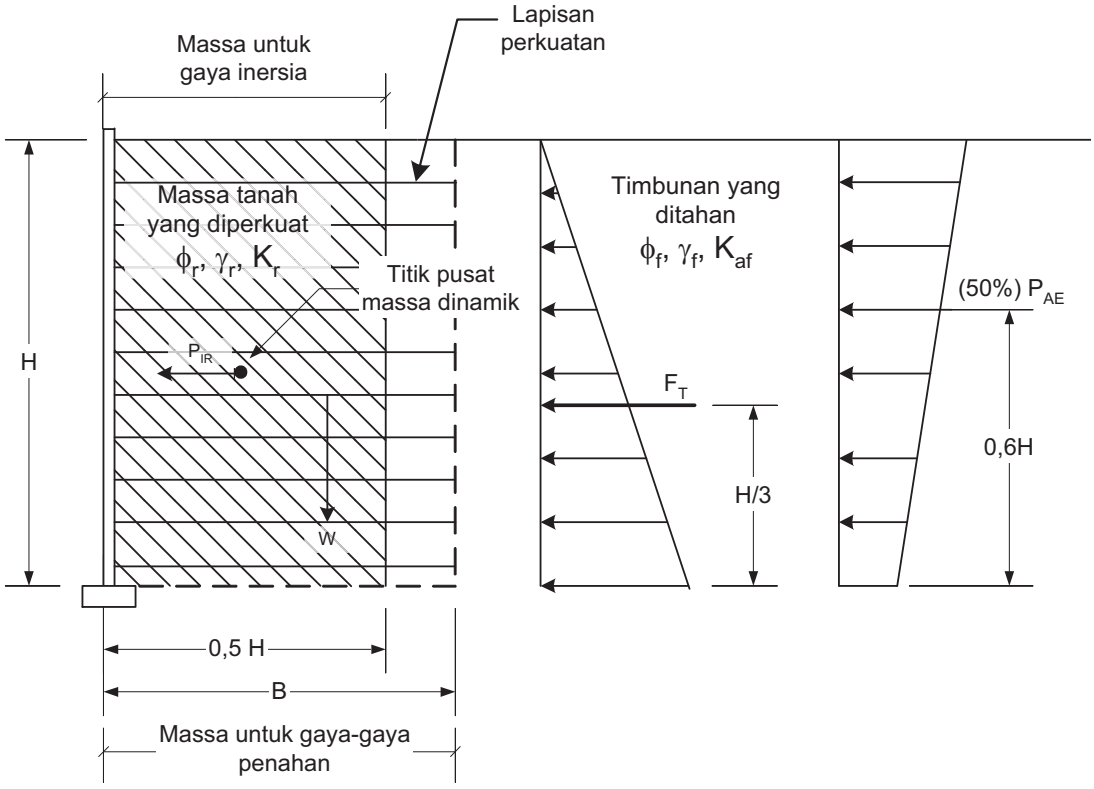
Am = percepatan horizontal maksimum respon pada pusat massa dinding

Hitung gaya inersia horizontal P_{IR} dan gaya gempa P_{AE}:

$$P_{IR} = 0{,}5\ A_m\ \gamma_r\ H^2 \quad \text{(lereng belakang dinding datar)} \cdots\cdots [3\text{-}26]$$

$$P_{AE} = 0{,}375\ A_m\ \gamma_f\ H^2 \quad \text{(lereng belakang dinding datar)} \cdots [3\text{-}27]$$

Pada gaya statik yang bekerja dalam struktur, tambahkan 50% gaya gempa P_{AE} dan gaya inersia total P_{IR} (lihat Gambar 3-10). P_{AE} yang dikurangi sebanyak 50% tersebut digunakan karena kedua gaya tidak mencapai puncak pada saat yang bersamaan;



(Sumber: Elias dkk, 2001)

Gambar 3-10 : Stabilitas Eksternal Terhadap Gempa untuk Kondisi Timbunan Datar

Langkah 9: Perkiraan penurunan

Analisis penurunan konvensional harus dilakukan untuk memastikan bahwa penurunan total (penurunan seketika, penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder) dari dinding dapat memenuhi persyaratan.

Apabila penurunan total di akhir konstruksi cukup besar, maka elevasi rencana dinding bagian atas sebaiknya disesuaikan kembali. Penyesuaian tersebut dapat dilakukan dengan menambah elevasi dinding bagian atas selama tahap perencanaan.

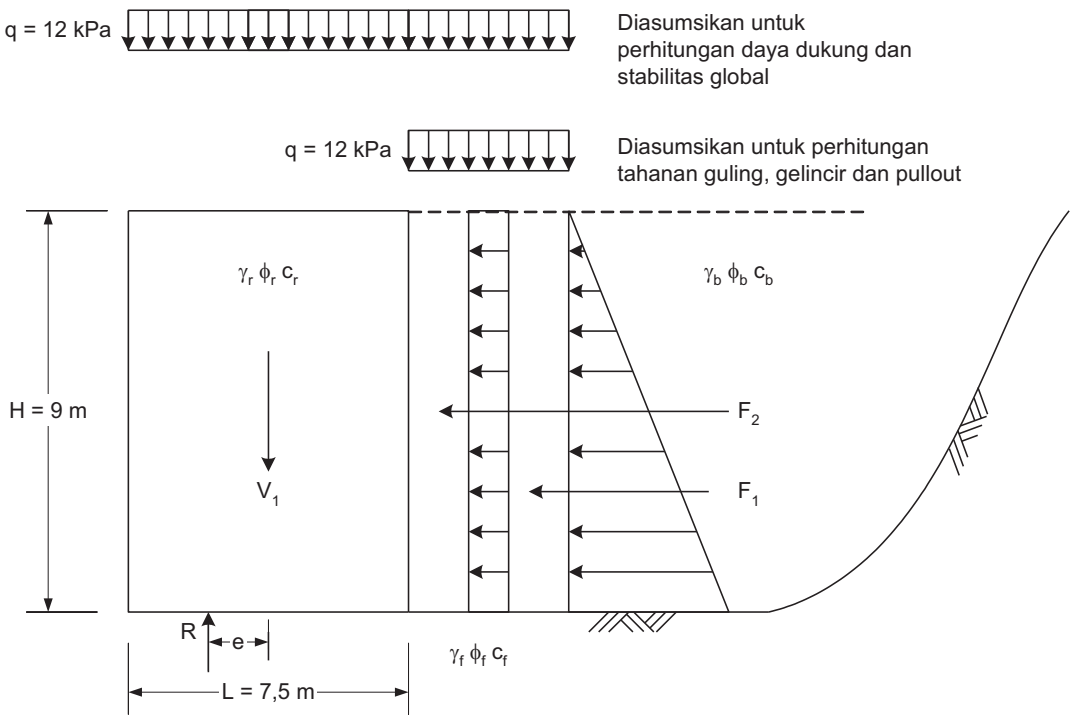
Penurunan diferensial yang cukup besar (lebih besar daripada 1/100) menandakan perlunya sambungan *slip* (gelincir) yang memungkinkan terjadinya pergerakan vertikal panel-panel beton pracetak yang bersebelahan secara independen. Apabila besar dan durasi penurunan tidak dapat diatasi dengan cara tersebut, maka perlu dipertimbangkan beberapa teknik perbaikan tanah. Teknik tersebut diantaranya adalah pemasangan penyalir vertikal, pemadatan dinamik, penggunaan timbunan ringan atau penerapan konstruksi bertahap.

3.4.3. Desain dengan Geogrid

Sama halnya desain menggunakan geotekstil, desain dengan geogrid juga memperhitungkan stabilitas eksternal seluruh massa dinding penahan tanah (geser/gelincir, guling dan daya dukung) dan stabilitas internal. Stabilitas internal di dalam massa tanah yang diperkuat meliputi spasi geogrid, panjang pengangkuran dan kekuatan sambungan). Contoh perhitungan berikut ini akan memperjelas proses desain dengan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geogrid dan mengunakan elemen penutup muka berupa panel beton pracetak.

3.5. Contoh Perhitungan

A. Geometri dinding penahan pada Gambar 3-11 berikut.



Gambar 3-11: Geometri dinding penahan

B. Langkah-langkah perhitungan

Berikut akan diperlihatkan langkah-langkah desain suatu dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geogrid seperti terlihat pada Gambar 3-11 di atas.

Langkah 1: Tentukan tinggi desain dan beban-beban eksternal

- Tinggi desain total H = 9 m
- Beban lalu lintas q = 12 kPa

Langkah 2: Tentukan parameter-parameter teknis tanah

- Bagian tanah yang diperkuat:

  $\gamma_r = 20\ kN/m^3 \quad \phi_r = 34° \quad c_r = 0\ kPa$

  $K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 34/2) = 0{,}28 = K_{aR}$

- Bagian tanah yang ditahan:

  $\gamma_b = 20\ kN/m^3 \quad \phi_b = 30° \quad c_b = 0\ kPa$

  $K_a = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 30/2) = 0{,}33$

- Tanah pondasi

  $\gamma_f = 20\ kN/m^3 \quad \phi_f = 30° \quad c_f = 0\ kPa$

Langkah 3: Tentukan faktor keamanan desain (FS)

- Stabilitas eksternal:
  - Gelincir = 1,5
  - Tekanan pondasi maksimum $\leq$ daya dukung izin
  - Eksentrisitas $\leq$ L/6
  - Stabilitas global $\geq$ 1,3
- Stabilitas internal
  - Cabut $\geq$ 1,5
  - Kuat tarik izin = T_a
  - Umur desain = 75 tahun

Langkah 4: Tentukan jenis penutup permukaan serta tipe dan jarak perkuatan.

Jenis penutup muka dipilih tipe blok modular dengan perkuatan dari geogrid. Berdasarkan dimensi unit blok modular sistem dinding yang akan digunakan, jarak vertikal antara perkuatan adalah kelipatan 0,203 m. Pemilihan jenis perkuatan didasarkan atas analisis biaya dan kemungkinan pelaksanaan.

Langkah 5: Tentukan panjang perkuatan

Untuk lereng timbunan horizontal dapat digunakan persyaratan L = 0,7H = 0,7(9) = 6,3 m. Dengan demikian panjang L = 7,5 m > 6,3 m dapat digunakan. Apabila dalam perhitungan stabilitas eksternal dan internal, faktor keamanan tidak memenuhi syarat maka panjang perkuatan perlu dilakukan perubahan.

Langkah 6: Hitung stabilitas eksternal

- Beban yang bekerja:
    - $V_1 = \gamma_r HL = 20 \times 9 \times 7,5 = 1350$ kN
    - $V_2 = qL = 12 \times 7,5 = 90$ kN
    - $R = \Sigma V = V_1 + V_2 = 1350 + 90 = 1440$ kN
    - $F_1 = ½\ \gamma_b H^2 K_a = 1/2 \times 20 \times 9^2 \times 0,33 = 270$ kN
    - $F_2 = qHK_a = 12 \times 9 \times 0,33 = 36$ kN
- Momen yang timbul:
    - Mo (momen guling) = $F_1(H/3) + F_2(H/2) = 270 \times 9/3 + 36 \times 9/2 = 972$ kNm
    - M_{RO} (momen tahanan) = $V_1(L/2) = 1350 \times 7,5/2 = 5062,5$ kNm
    - M_{RBP} (momen tahanan pada perhitungan daya dukung)

$= V_1(L/2) + V_2(L/2) = 1350 \times 7,5/2 + 90 \times 7,5/2 = 5400$ kNm

$$FS_{gelincir} = \frac{\sum P_R}{\sum P_D} = \frac{V_1 \tan \varphi}{F_1 + F_2} = \frac{1350 \tan 30}{270 + 36} = 2,55 > 1,5$$

(ϕ adalah yang terkecil di antara ϕ_r dan ϕ_f)

$$FS_{guling} = \frac{M_{RO}}{M_O} = \frac{5062,5}{972} = 5,21 > 2,0$$

- Tekanan dukung maksimum yang bekerja
    - **Eksentrisitas (e)**

      e_{izin} = L/6 = 7,5/6 = 1,25 m

      $$e = \frac{L}{2} - \frac{M_{RBP} - M_O}{V_1 + V_2} = \frac{7,5}{2} - \frac{5400 - 972}{1350 + 90} = 0,675 \leq 1,25$$

      m

      L' = L - 2e = 7,5 - 2×0,675 = 6,15 m

      $$\sigma_v = \frac{V_1 + qL}{L - 2e} = \frac{V_1 + V_2}{L'} = \frac{1350 + 90}{6,15} = 234,15 \text{ kN/m}^2$$

$q_{ult} = c_f N_c + 0,5(L-2e)\gamma_f N_\gamma$ (q_{ult} = daya dukung ultimit tanah pondasi)

$q_{ult} = 0,5L'\gamma_f N_\gamma = 0,5 \times 6,15 \times 20 \times 22,4 = 1377,6$ kN/m^2 (c_f = 0 kN/m^2)

$$Fk_{daya\ dukung} = \frac{q_{ult}}{\sigma_v} = \frac{1377,6}{234,15} = 5,88 > 2,5$$

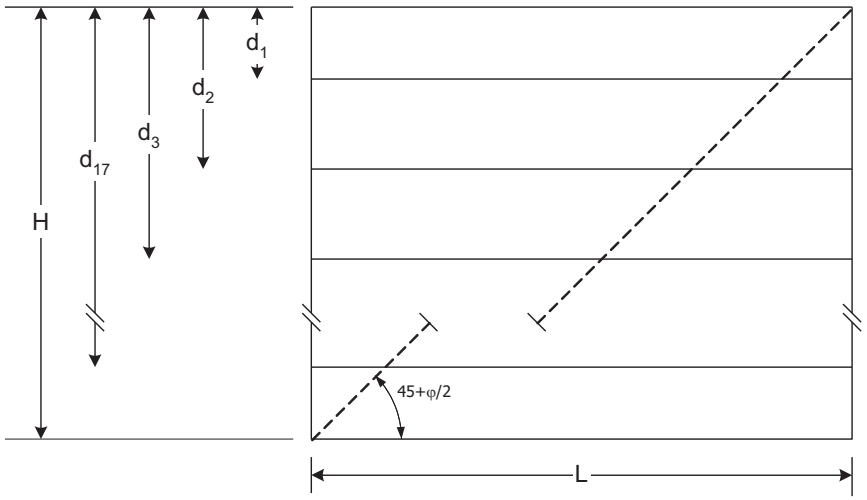
Faktor keamanan pada lapis grid pertama (pada dasar dinding)

$F_1 = ½\ \gamma_b\ (d_{17})^2\ Ka = (1/2)\ (20)\ (8,80)^2\ (0,33) = 255,14$ kN

$F_2 = q.(d_{17})\ Ka = (12)\ (8,80)\ (0,33) = 34,85$ kN

$$F_{gelincir} = \frac{\gamma_r (d_{17}) \tan\phi_r . Ci}{(F_1 + F_2)} = \frac{(20)(8{,}80)(\tan 34^0)(0{,}8)}{(255{,}14 + 34{,}85)} = 2{,}45 > 1{,}5$$

Langkah 7: Hitung stabilitas internal berdasarkan sketsa pembagian area pada Gambar 3-12 berikut.



Gambar 3-12: Sketsa pembagian area untuk perhitungan stabilitas internal

Perhitungan pembagian area V_i berdasarkan hubungan:

$V_1 = d_1 + ½ (d_2-d_1)$

$V_2 = ½ (d_2-d_1)+ ½ (d_3-d_2)$

$V_n = ½ (d_n-d_{n-1})+(H-d_n)$

Perhitungan kuat tarik pada tiap lapisan perkuatan:

$T_{max} = \sigma_H S_V = \sigma_H V_i$

$\sigma_H = k_{AR}(\gamma_R d_i + q)$

Tabel 3-1 di bawah ini memperlihatkan hasil dari perhitungan V_i, T_{max} dan $T_{all.}$

Tabel 3-1: Hasil perhitungan V_i , T_{max} dan T_{all}

Lapisan	Tinggi	d_i	σ_V	σ_H	V_i	T_{max}	T_{all}
	(m)	(m)	(kPa)	(kPa)	(m)	(kN)	(kN)
1	8,52	0,48	21,54	6,09	0,78	4,8	5,2
2	7,91	1,09	33,72	9,53	0,61	5,8	6,9
3	7,31	1,70	45,90	12,98	0,61	7,9	11,2
4	6,70	2,30	58,08	16,42	0,61	10,0	17,1
5	6,09	2,91	70,26	19,86	0,61	12,1	17,1
6	5,48	3,52	82,44	23,31	0,61	14,2	21,4
7	4,87	4,13	94,62	26,75	0,61	16,3	21,4
8	4,26	4,74	106,80	30,19	0,61	18.4	21,4
9	3,65	5,35	118,98	33,64	0,61	20,5	21,4
10	3,04	5,96	131,16	37,08	0,51	18,8	21,4
11	2,64	6,36	139,28	39,38	0,41	16,0	21,4
12	2,23	6,77	147,40	41,67	0,41	16,9	21,4
13	1,82	7,18	155,52	43,97	0,41	17,9	21,4
14	1,42	7,58	163,64	46,26	0,41	18,8	27,9
15	1,01	7,99	171,76	48,56	0,41	19,7	27,9
16	0,61	8,39	179,88	50,85	0,41	20,6	27,9
17	0,20	8,80	188,00	53,15	0,40	21,4	27,9

Perhitungan panjang perkuatan (L) di tiap lapisan perkuatan berdasarkan kapasitas cabut:

Hubungan-hubungan berikut digunakan dalam perhitungan panjang perkuatan, L:

$$L_e \geq \frac{1,5T_{\max}}{C\tan\varphi C_i \gamma z R_c \alpha} \geq 1 \text{ m}$$

$$L_a = (H - d_i)\tan\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$L = L_e + L_a$

Dengan menggunakan R_c = 100%, C = 2, C_i = 0,8 dan α = 1, secara tabelaris hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel 3-2 di bawah ini.

Tabel 3-2 : Hasil perhitungan panjang perkuatan

Lapisan	Tinggi	d_i	σ_v	L_e	L_a	L
	(m)	(m)	(kPa)	(m)	(m)	(m)
1	8,52	0,48	9,54	0,87	4,53	5,53
2	7,91	1,09	21,72	0,46	4,21	5,21
3	7,31	1,70	33,90	0,41	3,88	4,88
4	6,70	2,30	46,08	0,38	3,56	4,56
5	6,09	2,91	58,26	0,36	3,24	4,24
6	5,48	3,52	70,44	0,35	2,91	3,91
7	4,87	4,13	82,62	0,34	2,59	3,59
8	4,26	4,74	94,80	0,34	2,27	3,27
9	3,65	5,35	106,98	0,33	1,94	2,94
10	3,04	5,96	119,16	0,27	1,62	2,62
11	2,64	6,36	127,28	0,22	1,40	2,40
12	2,23	6,77	135,40	0,22	1,19	2,19
13	1,82	7,18	143,52	0,22	0,97	1,97
14	1,42	7,58	151,64	0,22	0,75	1,75
15	1,01	7,99	159,76	0,21	0,54	1,54
16	0,61	8,39	167,88	0,21	0,32	1,32
17	0,20	8,80	176,00	0,21	0,11	1,11

Dengan demikian panjang perkuatan L sebesar 7,5 m dapat digunakan pada keseluruhan tinggi timbunan. Pada desain yang sebenarnya, pengaruh seismik harus dipertimbangkan karena dapat menambah panjang perkuatan yang dibutuhkan. Selanjutnya, kuat tarik izin yang digunakan harus lebih besar dibandingkan T_{max}.

3.6. Soal Latihan

1. Spasi perkuatan tipikal untuk dinding yang diselubungi dengan geotekstil *(geotextile-wrapped walls)* bervariasi antara:

   (a) 0,1 dan 0,5 m

   (b) 0,5 dan 1,0 m

   (c) 1,0 dan 2,0 m

   (d) Tidak ada jawaban yang benar

2. Apakah hal yang perlu dilakukan untuk spasi selubung geotekstil *(wraparound geotextiles)* yang lebih besar daripada 0,6 m ?
3. Sebutkan model-model keruntuhan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik. Jelaskan secara ringkas.
4. Sebutkan faktor-faktor yang mempengaruhi panjang lipatan dalam penutup muka selubung *(wraparound)* pada dinding penahan tanah yang diperkuat.

4 Pelaksanaan dan Pemantauan Konstruksi

Pada konstruksi aktualnya, dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik (geotekstil,geogrid) memiliki karakteristik performa yang sangat baik dan memberikan banyak keuntungan dibandingkan dengan dinding penahan tanah konvensional

4.1. Panduan Pelaksanaan Secara Umum

Untuk mencapai performa struktur yang lebih baik, beberapa hal berikut patut dipertimbangkan di lapangan:

1. Seluruh tanah dasar (tanah fondasi) yang tidak sesuai harus diganti dengan material timbunan berbutir yang telah dipadatkan.
2. Lapisan geosintetik harus dipasang dengan arah mesin *(warp strength)* berada pada arah yang tegak lurus permukaan dinding.
3. Dengan adanya lapisan geosintetik, maka dipandang perlu untuk tidak menyobeknya pada arah yang paralel dengan permukaan dinding, karena setengah sobekan dari geosintetik jenis ini akan mengurangi sejumlah gaya tarik lapisan geotekstil tersebut.
4. Overlap di sepanjang ujung lapisan geosintetik harus lebih dari 200 mm. Apabila kemungkinan terjadinya penurunan fondasi cukup besar, maka jahitan atau sambungan lainnya dapat direkomendasikan di antara lapisan geosintetik yang saling berhubungan.

5. Kerutan atau slack di dalam lapisan geosintetik tidak diperbolehkan karena dapat mengakibatkan pergerakan yang berbeda.

6. Material timbunan berbutir umumnya harus dipadatkan hingga sekurang-kurangnya 95% dari berat isi kering maksimum Standar Proctor. Usaha pemadatan dibutuhkan agar pemadatan seragam sehingga beda penurunan dapat dihindari.

7. Material timbunan harus dipadatkan, dengan menjaga agar alat pemadat tidak berada terlalu dekat dengan elemen penutup muka, sehingga penutup muka tidak tertekan karena akan berakibat tercabutnya atau terjadi pergerakan lateral pada permukaan dinding. Dengan demikian direkomendasikan untuk menggunakan alat pemadat manual yang ringan berjarak 1 m dari permukaan dinding.

8. Lapisan penutup muka geosintetik yang diselubungi dapat dibangun dengan menggunakan penyangga sementara *(temporary formwork)* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4-1. Panjang lipatan harus tidak kurang dari 1 m. Untuk lebih detailnya akan dijelaskan pada sub pasal terpisah di dalam pasal ini.

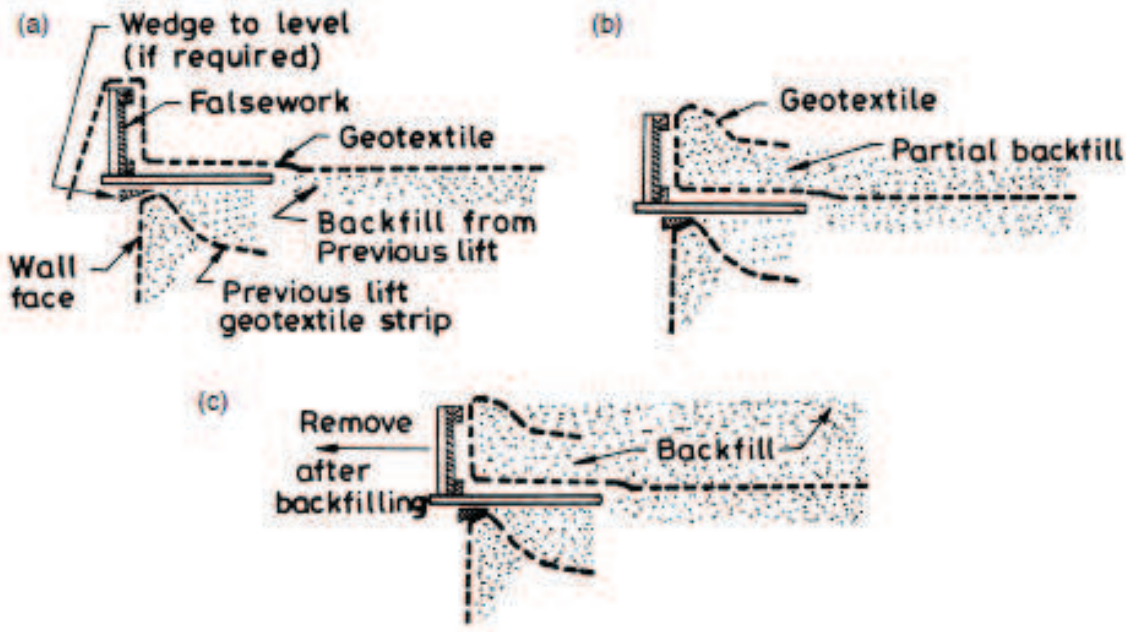
9. Sistem konstruksi untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik permanen (GRS-RW), yang banyak digunakan di Jepang, dapat diadopsi. Sistem ini menggunakan penutup muka kaku dengan tinggi sepenuhnya *(full height)* yang dicetak di tempat dengan menggunakan prosedur konstruksi bertahap (Gambar 4-2). Sistem ini memiliki beberapa fitur khusus seperti perkuatan yang relatif pendek serta penggunaan tanah dengan kualitas rendah sebagai timbunan.

10. Dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geogrid dapat dibangun dengan filter geotekstil berdekatan dengan permukaannya. Langkah-langkah konstruksi utamanya diperlihatkan pada Gambar 4-3.

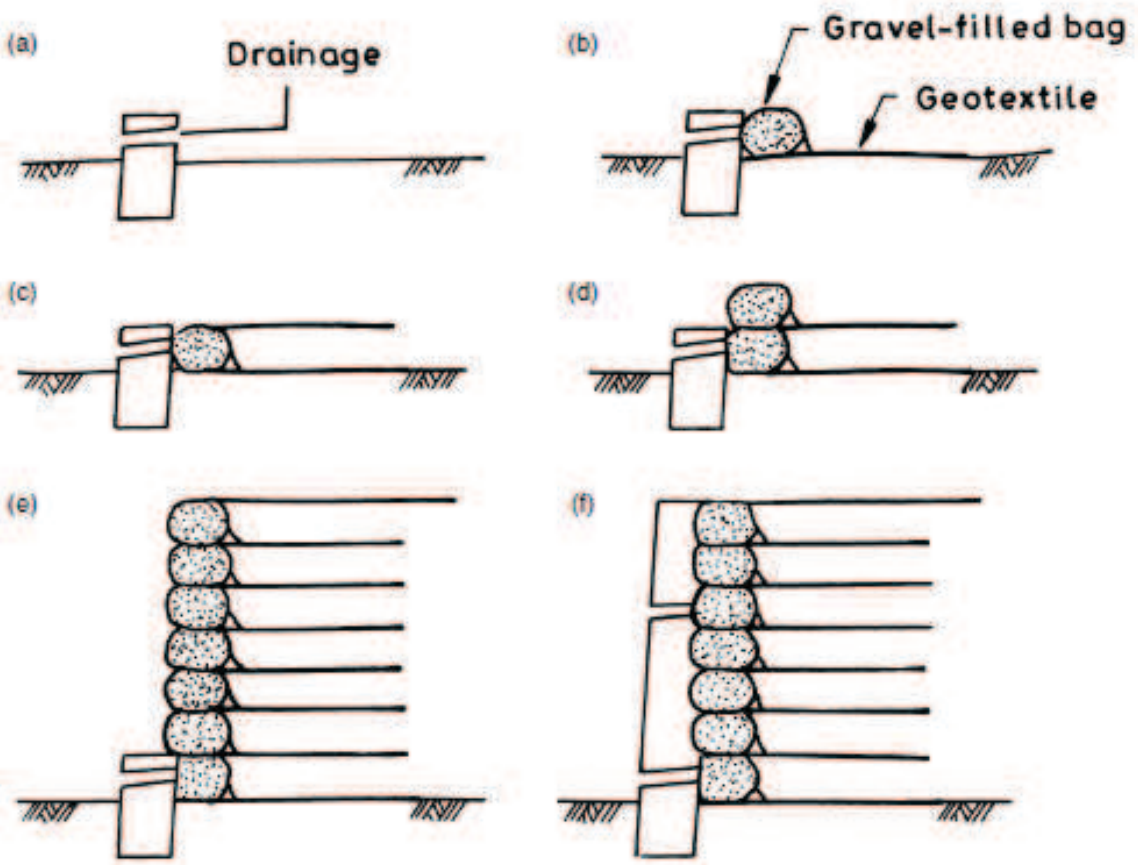
11. Untuk lapisan penutup muka yang terbuat dari blok beton segmental atau modular, panel beton pracetak dengan tinggi

sepenuhnya, panel baja yang dilas, gabion, atau panel kayu yang dipelihara, maka perlu dibuat sambungan penutup muka sebelum melakukan penimbunan.

12. Spesifikasi konstruksi dan pengawasan kualitas yang ketat dibutuhkan untuk memastikan bahwa permukaan dinding dibangun dengan baik, sehingga tidak dihasilkan permukaan dinding yang buruk atau gagal.



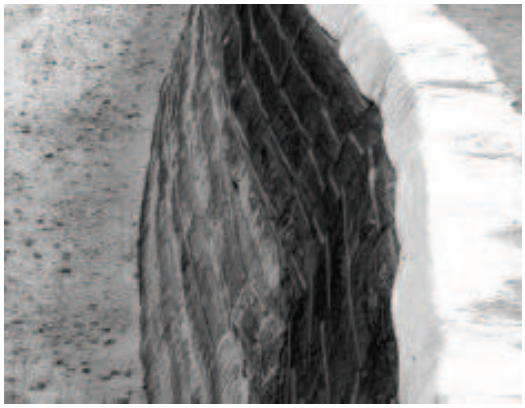
Gambar 4-1 : Langkah konstruksi lapisan geotekstil pada dinding penahan tanah (Fundamental)



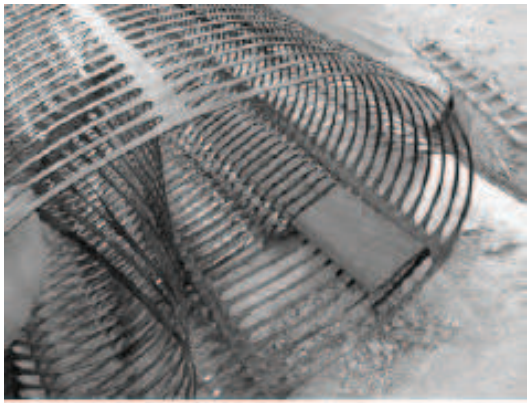
Gambar 4-2 : Prosedur konstruksi bertahap standar untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik: (a) dasar dari beton; (b) kantung berisi kerikil; (c) timbunan dan pemadatan (d) lapisan kedua dari geotekstil dan kantung berisi kerikil; (e) konstruksi seluruh lapisan; (f) konstruksi penutup muka beton (Fundamental)

(a)

(b)



(c)



(d)

(e)

Gambar 4-3 : Prosedur Konstruksi Dinding Penahan Tanah yang Diperkuat dengan Geogrid: (a) pekerjaan tanah; (b) pemasangan lapisan geogrid; (c) pemasangan lapisan filter geotekstil di dekat permukaan dinding; (d) sambungan antara lembar geogrid yang terlipat dengan lembar geogrid berikutnya; (e) tampak depan dinding

4.2. Prosedur Pelaksanan Khusus dengan Geoteksil sebagai Perkuatan

Faktor tepenting agar dinding penahan tanah yang distabilisasi dengan geotekstil berfungsi dengan baik adalah konstruksi yang benar, yang dilakukan secara bertahap. Saat pekerjaan persiapan tanah dasar, dinding sudah mulai dibangun. Dinding penahan ini tidak menggunakan fondasi telapak beton dan lapisan geotekstil terendah pun dipasang langsung di atas tanah dasar.

Tahapan konstruksi dinding penahan tanah dengan elemen penutup muka selubung geotekstil dijelaskan sebagai berikut:

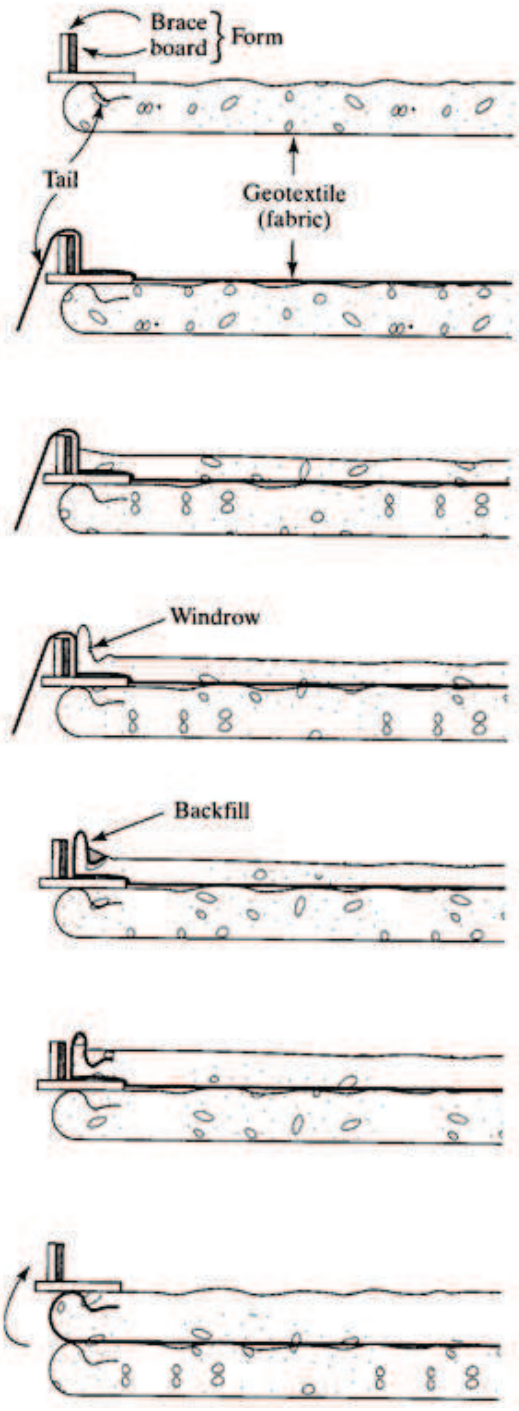
1. Tempatkan cetakan kayu yang umum disebut “lift height” dengan ketinggian yang lebih tinggi daripada tebal satu lapis tanah pada permukaan tanah. Atau dapat pula dipasang di atas lapisan pertama. Cetakan ini terbuat dari rangkaian besi berbentuk L dengan papan kayu menerus di sepanjang permukaan dinding.
2. Buka gulungan geosintetik dan tempatkan di bagian atas cetakan, kira-kira 1,0 m lebih panjang sehingga menggantung. Jika sangat lebar, gulungan geotekstil dapat dibuka sejajar dengan dinding. Dengan cara ini arah melintang mesin akan berada pada arah tekanan maksimumnya. Ini akan tergantung kepada panjang desain dan kekuatan geotekstil yang dibutuhkan, yang akan dibahas selanjutnya. Kekuatan jahitan merupakan faktor yang menentukan. Sebagai alternatif, geotekstil dengan lebar penuh dapat dibuka tegak lurus dinding dan ujung-ujung gulungan yang saling bersentuhan dapat ditumpang tindihkan atau dijahit. Dengan demikian, arah mesih akan searah dengan arah tekanan maksimum.
3. Hamparkan material timbunan di atas geotekstil setebal ½ - ¾ tinggi lapisan dan padatkan. Tebal lapisan tipikal adalah 200 – 400 m. Pemilihan material timbunan sangatlah penting. Jika materialnya kerikil berbutir, maka drainase akan mundah

namun kerusakan geotekstil akibat pemasangan harus dipertimbangkan. Jika materialnya lempung atau lanau berbutir halus, drainase akan sulit dan tekanan hidrostatis harus dipertimbangkan. Pasir dinilai sebagai material terbaik untuk dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geotekstil dan geogrid.

4. Windrow dibuat berjarak 300 – 600 mm dari permukaan dinding dengan menggunakan *road grader* atau manual dengan tangan. Harus dijaga agar geotekstil di bawahnya tidak rusak.
5. Ujung geotekstil atau "tail" selanjutnya dilipat ke belakang di sepanjang cetakan kayu ke windrow.
6. Selesaikan penimbunan kemudian dipadatkan sampai ketebalan rencana.
7. Cetakan kayu selanjutnya dibuka, demikian halnya dengan rangka besi, kemudian dirakit kembali untuk dipasang pada lapisan berikutnya yang lebih tinggi. Perlu diketahui bahwa umumnya dibutuhkan scaffolding di depan dinding jika dinding lebih tinggi dari 1,5 atau 2,0 m.

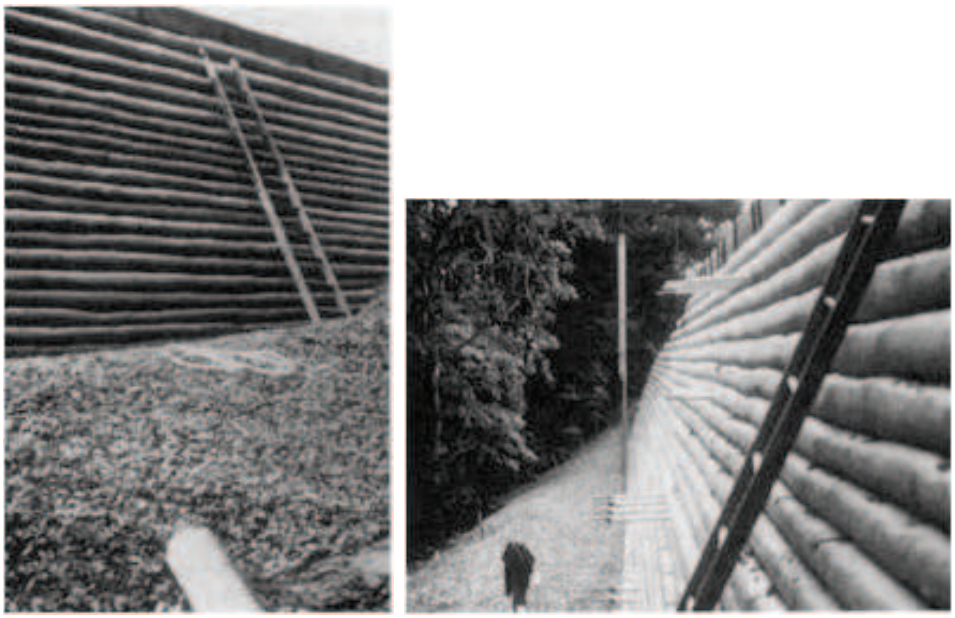
Jika tahapan telah selesai, dinding akan tampak seperti pada Gambar 4-4. Bagian permukaan dinding yang terekspos harus ditutup untuk menjaga melemahnya geotekstil akibat sengatan sinar UV dan kemungkinan perusakan. Emulsi bitumen atau produk aspal lainnya bisa digunakan untuk menutup permukaan dinding. Pekerjaan ini harus dilakukan secara periodik mengingat oksidasi bitumen menyebakan penurunan kinerja geotekstil. Alternatif lain adalah menutup permukaan dengan beton semprot.

Aplikasi dinding penahan tanah dengan elemen penutup muka selubung geotekstil diperlihatkan pada Gambar 4-5.



1. Pasang cetakan di atas lapisan yang sudah terbentuk
2. Buka gulungan geotekstil dan tempatkan sehingga bagian ujungnya (tail) menggantung $\pm$ 1 m di atas cetakan
3. Timbun sampai ½ tinggi lapisan
4. Buat windrow yang lebih tinggi dari lapisan
5. Lipat ujung geotekstil ke arah windrow dan timbun dengan material
6. Selesaikan penimbunan sampai ketebalan rencana tercapai
7. Pasang kembali cetakan untuk lapisan berikutnya dan ulangi tahapan kerjanya

Gambar 4-4 : Tahapan konstruksi dinding dengan elemen penutup muka selubung geotekstil



Gambar 4-5 : Aplikasi dinding penahan tanah dengan penutup muka selubung geotekstil

4.3. Prosedur Pelaksanaan dengan Lapisan Penutup Beton Pracetak

Berikut ini dijelaskan prosedur pelaksanaan dinding penahan tanah yang diperkuat dengan geosintetik dan diberi lapisan penutup beton pracetak.

A. Persiapan tanah dasar;

1) Penggalian tanah pondasi hingga mencapai elevasi rencana;

2) Periksa daerah tanah pondasi yang telah digali. Tanah pondasi yang buruk harus dipadatkan atau digali dan diganti dengan bahan timbunan pilihan yang dipadatkan;

3) Pemadatan tanah dasar dengan alat pemadat getar atau pemadat roda karet;

4) Pada areal pondasi yang tidak stabil, metode perbaikan tanah atau metode lainnya perlu dibuat sebelum pemasangan dinding.

B. Penempatan alas perata;

Alas perata beton tak bertulang harus ditempatkan pada elevasi pondasi untuk seluruh dinding yang menggunakan elemen penutup muka beton (panel dan blok beton modular). Biasanya alas perata beton ini mempunyai lebar 300 mm dan tebal 150 mm. Fungsi alas perata ini adalah adalah sebagai acuan dalam pemasangan penutup muka dan bukan sebagai pondasi penopang struktural.

C. Penempatan penutup muka di atas alas perata;

1) Penutup muka dapat terdiri dari panel beton pracetak, baja atau blok modular;

2) Baris pertama panel dapat berupa panel dengan tinggi utuh maupun hanya setengahnya, tergantung pada jenis penutup muka yang digunakan. Deret bertingkat pertamanya harus ditopang ke atas untuk mempertahankan stabilitas dan kelurusan. Untuk konstruksi dengan blok modular pracetak, digunakan blok utuh dan tidak ditopang;

3) Pemasangan panel penutup muka serta penimbunan dilakukan secara simultan.

D. Penimbunan dan pemadatan timbunan tanah dasar;

1) Bahan timbunan harus dihamparkan dengan tebal seperti yang disyaratkan;

2) Timbunan sebaiknya dipadatkan hingga kepadatan tertentu, umumnya 95% sampai dengan 100% kepadatan maksimum, pada rentang kadar air optimum tertentu;

3) Kinerja timbunan yang baik menuntut penimbunan dan pemadatan yang konsisten. Tebal lapisan timbunan dinding harus dibatasi dengan persyaratan spesifikasi dan distribusi vertikal elemen perkuatan.

E. Penggelaran elemen perkuatan;

Perkuatan digelar dan dihubungkan dengan penutup muka ketika penimbunan telah mencapai elevasi sambungan. Perkuatan biasanya ditempatkan secara tegak lurus terhadap unit penutup muka bagian belakang;

F. Penghamparan timbunan di atas perkuatan;

1) Perkuatan geosintetik harus ditarik kencang dan diangker sebelum penghamparan timbunan;

2) Pekerjaan penghamparan dan penyebaran timbunan harus dapat mencegah atau meminimalisasi terjadinya kerutan pada geosintetik. Kerutan di dekat sambungan dengan penutup muka harus dihindari karena dapat menyebabkan terjadinya pergerakan diferensial pada muka dinding;

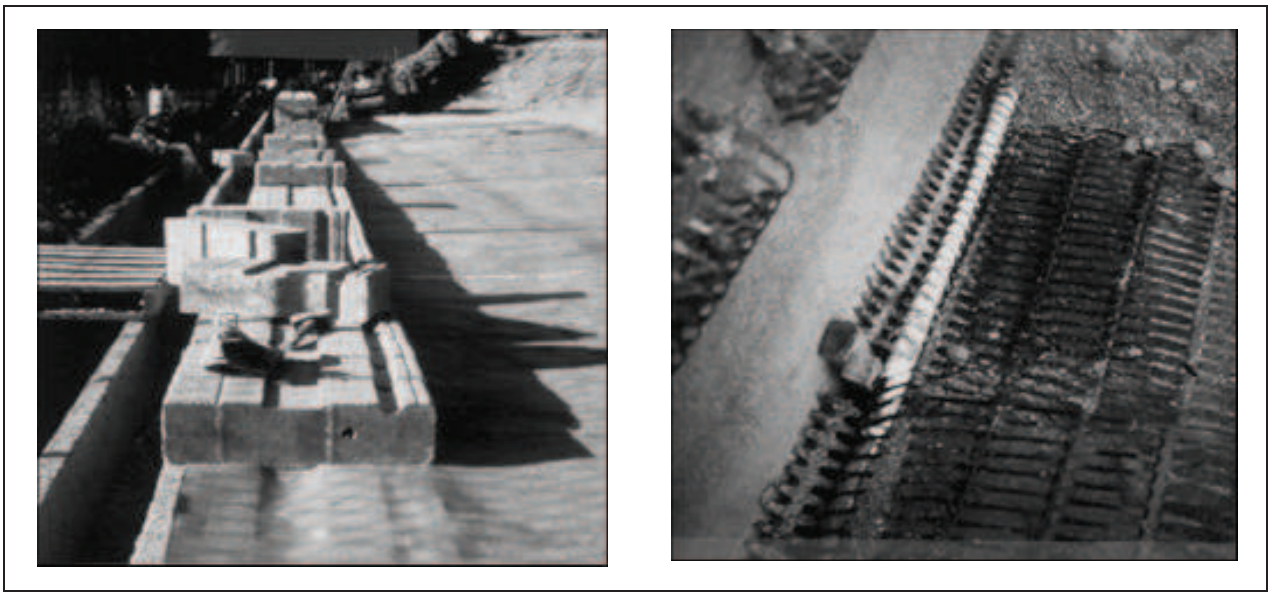
3) Suatu lapisan timbunan minimal setebal sebesar 150 mm harus berada di antara perkuatan dan roda alat berat sepanjang waktu.

G. Konstruksi penghalang lalu lintas dan penutup dinding.

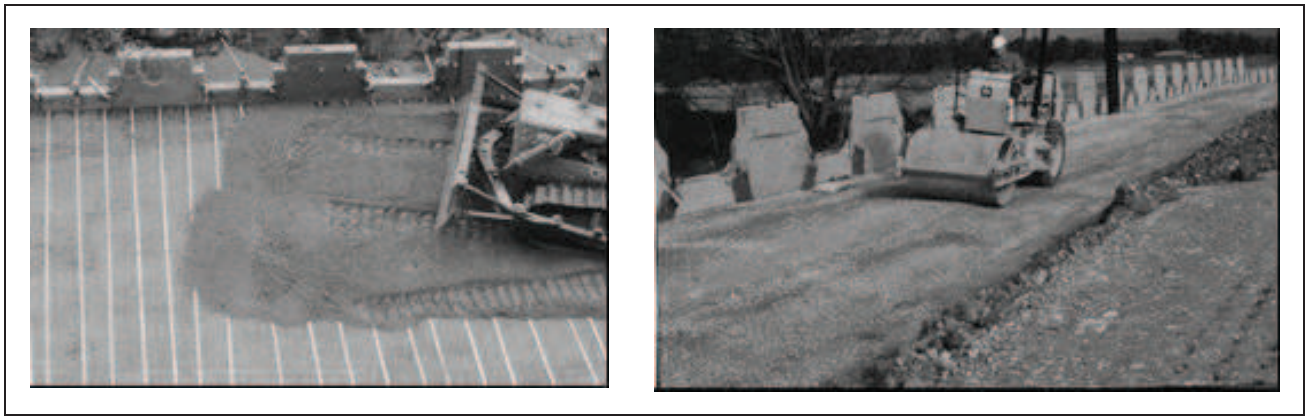
Tahap akhir pelaksanaan dilakukan setelah panel terakhir dipasang dan penimbunan telah mencapai tinggi rencana.

Tahapan pelaksanaan diilustrasikan pada Gambar 4-6 sampai dengan Gambar 4-8.

Gambar 4-6 :Pemasangan Panel Pracetak



Gambar 4-7 : Penyebaran Material Timbunan dan Penyambungan Perkuatan



Gambar 4-8 : Pemadatan Timbunan

4.4. Pengawasan Lapangan

Prinsip dasar pengawasan lapangan secara umum, metode monitoring dan peralatan yang dibutuhkan untuk geosintetik yang berfungsi sebagai perkuatan dapat mengacu kepada Modul Volume 2. Pada prinsipnya, pengawas lapangan harus selalu mengkaji daftar *(checklist items)* yang diberikan pada tiap proyek atau pekerjaan dan menjaga agar geosintetik tidak terkena sengatan sinar ultraviolet yang dapat merusak geosintetik.

4.5. Soal Latihan

1. Manakah di antara material berikut yang dinilai paling sesuai untuk material timbunan ?

   (a) Lempung atau lanau berbutir halus

   (b) Kerikil

   (c) Pasir

   (d) Tidak ada jawaban yang benar

2. Apakah yang harus diperhatikan untuk mencegah menurunnya kualitas geotekstil yang sudah terpasang ?

3. Manakah di antara tahapan pekerjaan berikut yang bukan merupakan tahapan pelaksanaan dinding dengan lapisan penutup beton pracetak ?

   (a) Persiapan tanah dasar

   (b) Penempatan alas perata

   (c) Pemasangan elemen penutup muka

   (d) Pemasangan inklinometer

4. Sebutkan syarat-syarat penimbunan dan pemadatan tanah dasar yang Anda ketahui.

Jawaban Soal Latihan

Pasal 1

1. c
2. c
3. b
4. d

Pasal 2

1. b
2. c
3. Material timbunan tanah berbutir, lapisan geotekstil dan geogrid serta elemen penutup muka *(facing)*.
4. Anyaman kawat *(wire mesh)* yang diangker ke elemen penutup muka akan dibutuhkan untuk mencegah pelapisan *(coating)* permukaan dinding. Pelapisan ini melindunginya dari ekspos sinar ultraviolet, potensi vandalisme dan kemungkinan terjadinya kebakaran

Pasal 3

1. a
2. Pasang lapisan geotekstil di tengah-tengah *(intermediate geotextile layer)* untuk mencegah gembungan *(bulging)* permukaan dinding yang berlebihan antar lapisan geotekstil.
3. Mode keruntuhan internal (cabut, tarik, gelincir di sambungan elemen penutup muka), keruntuhan eksternal (gelincir, guling,

keruntuhan daya dukung) dan keruntuhan elemen penutup muka (sambungan yang gagal, geser pada kolom, terguling)

4. Spasi vertikal, tekanan tanah aktif, sudut geser antar muka tanah-geosintetik, faktor keamanan terhadap cabut)

Pasal 4

1. c
2. Menutup bagian permukaan dinding yang terekspos untuk menjaga melemahnya geotekstil akibat sengatan sinar UV dan kemungkinan perusakan. Dilakukan dengan emulsi bitumen atau produk aspal lainnya atau beton semprot secara periodik.
3. d
4. Syarat penimbunan dan pemadatan:
    1. Bahan timbunan harus dihamparkan dengan tebal seperti yang disyaratkan
    2. Timbunan sebaiknya dipadatkan hingga kepadatan tertentu, umumnya 95% sampai dengan 100% kepadatan maksimum, pada rentang kadar air optimum tertentu
    3. Penimbunan dan pemadatan harus konsisten. Tebal lapisan timbunan dinding harus dibatasi dengan persyaratan spesifikasi dan distribusi vertikal elemen perkuatan

Acknowledgement

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.

Terima kasih juga diucapkan pada Prof. Dr. Georg Heerten, German Geotechnical Society atas ijinnya untuk menggunakan gambar dan foto dari bahan ajarnya di Aachen University, Jerman dalam modul ini.

Daftar Istilah

Indonesia	Inggris
Antarmuka	Interface
Arah Mesin	Warp
Beton semprot	Shotcrete
Cabut	Pullout
Embedment length	Panjang pembenaman
Geosintetik	Geosynthetics
Grid	Grid
Ikatan (pengangkuran)	Anchorage
Kuncian	Interlock
Paku geser	Insert
Pita metalik	Metallic Strip
Rangkak	Creep
Selubung	Wraparound
Tak teranyam	Non woven
Teranyam	Woven
Tak-teranyam	Non woven
Teranyam	Woven

Daftar Pustaka

BSI Standars Publication. *BS 8006-1: 2010. Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills.* British Standard. October 2010.

DPU. 2009. *Pedoman Konstruksi dan Bangunan: Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik, No. 003/BM/2009*. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

Koerner, Robert M. 2005. *Designing with Geosynthetic, 5th Edition*. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. *Fundamentals of Geosynthetic Engineering.* Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Shukla, S.K. 2002. *Geosynthetic and Their Applications.* Thomas Telford. London.

Modul Pelatihan Geosintetik

Direktorat Bina Teknik, Ditjen Bina Marga

VOLUME 5.
PEDOMAN PENGGUNAAN GEOSINTETIK UNTUK KONSTRUKSI JALAN

Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

KATA PENGANTAR

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami penggunaan geosintetik untuk konstruksi jalan dan spesifikasi spesifikasi geosintetik untuk separator dan stabilisator.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil filter.

Modul Volume 5 ini berisi uraian fungsi geosintetik pada konstruksi jalan, sifat-sifat geosintetik yang penting sesuai dengan fungsinya sebagai separator dan stabilisator pada konstruksi jalan tanpa perkerasan, desain geosintetik pada jalan tanpa perkerasan, pengenalan penggunaan *paving fabric* pada lapis tambah, panduan pemasangan geosintetik, dan spesifikasi geosintetik yang berfungsi sebagai separator dan stabilisator pada konstruksi jalan.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

TUJUAN

Setelah menyelesaikan pelatihan, peserta mampu:

1. Memahami jenis dan fungsi geosintetik.
2. Memahami tata cara perencanaan jalan yang diperkuat dengan geosintetik.

TUJUAN INSTRUKSIONAL UMUM

Setelah mengikuti pelatihan pedoman penggunaan geosintetik untuk konstruksi jalan, peserta diharapkan mampu merencanakan dan mengawasi pelaksanaan konstruksi jalan dengan geosintetik yang berfungsi sebagai separator dan stabilisator.

TUJUAN INSTRUKSIONAL KHUSUS

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

1. Memahami konsep dan fungsi geosintetik pada konstruksi jalan, khususnya sebagai separator dan stabilisator.
2. Memahami tata cara perencanaan geosintetik untuk separator dan stabilisator pada konstruksi jalan.
3. Memahami tata cara pelaksanaan dan memahami uji kendali mutu yang dibutuhkan saat pelaksanaan.
4. Memahami pengujian geosintetik yang dibutuhkan untuk fungsi separator dan stabilisator.

5. Memahami spesifikasi geotekstil untuk filter, separator dan stabilisator; khususnya mampu memahami kelas-kelas geosintetik berdasarkan kondisi lapangan sehingga dapat memilih sifat-sifat indeks geotekstil yang dibutuhkan.

Daftar Isi

1. Fungsi Geosintetik pada Konstruksi Jalan 1
   - 1.1. Pengantar 1
   - 1.2. Jalan tanpa Perkerasan 2
     - 1.2.1. Perkuatan/Stabilisator 6
     - 1.2.2. Separator 9
   - 1.3. Jalan dengan Perkerasan 11
     - 1.3.1. Lapis geosintetik pada permukaan tanah dasar (Separator) 11
     - 1.3.2. Lapis geosintetik pada permukaan lapis pondasi yang diberi lapis tambah (*overlay*) 13
   - 1.4. Soal Latihan 23
2. Sifat-Sifat Geosintetik 25
   - 2.1. Pengantar 25
   - 2.2. Sifat-sifat Fisik 25
   - 2.3. Sifat-sifat Mekanik 27
   - 2.4. Sifat-sifat Hidrolik 29
   - 2.5. Soal Latihan 29
3. Desain Geosintetik 31
   - 3.1. Pengantar 31
   - 3.2. Metodologi Perencanaan 32
     - 3.2.1. Jalan tanpa Perkerasan 36
     - 3.2.2. Jalan dengan Perkerasan 57
   - 3.3. Soal Latihan 62
4. Panduan Pemasangan Geosintetik 65

4.1. Pengantar 65
4.2. Panduan Umum..... 66
4.2.1. Kehati-hatian dan Pertimbangan 66
4.2.2. Pemilihan Geosintetik 68
4.2.3. Identifikasi dan Inspeksi 69
4.2.4. Metode Pengambilan Contoh dan Metode Uji..... 70
4.2.5. Proteksi sebelum Pemasangan 71
4.2.6. Penyiapan Lokasi Pekerjaan 73
4.2.7. Pemasangan Geosintetik..... 74
4.2.8. Sambungan 76
4.2.9. Pemotongan Geosintetik..... 80
4.2.10. Proteksi selama konstruksi dan umur layan..... 81
4.2.11. Evaluasi Kerusakan dan Perbaikan 83
4.2.12. Peng-angkuran..... 84
4.2.13. Penegangan Awal 86
4.2.14. Pemeliharaan..... 86
4.2.15. Penanganan sampah geotekstil 86
4.3. Panduan Khusus 86
4.3.1. Jalan tanpa Perkerasan..... 87
4.3.2. Jalan dengan Perkerasan..... 94
4.4. Soal Latihan 99
5. Spesifikasi Geosintetik 102
5.1. Pengantar 102
5.2. Persyaratan Fisik Geotekstil 106
5.3. Geotekstil sebagai Separator 111

5.3.1. Persyaratan Geotekstil sebagai Separator 111
5.4. Geotekstil sebagai Stabilisator 112
5.4.1. Persyaratan Geotekstil sebagai Stabilitator 113

Daftar Gambar

Gambar 1. Tipikal penampang melintang jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil.. 3

Gambar 2. Fungsi Perkuatan yang diberikan geosintetik pada jalan (a) Tahanan lateral, (b) Peningkatan kapasitas daya dukung dan (c) *Membrane Tension Support* (after Haliburton, et al., 1981). 8

Gambar 3. Konsep geotekstil sebagai separator pada jalan tanpa perkerasan (after Rankilor, 1981) 10

Gambar 4. Konsep geosintetik sebagai separator pada struktur perkerasan jalan (after Shukla & Yin, 2006)..... 12

Gambar 5. Mekanisme pembentukan dan perambatan retakan dalam lapis tambah beton aspal: (a) akibat dari lalu lintas – (i) pelengkungan berulang-ulang (*repeated bending*), (ii) pengaruh geser (*shear effect*); (b) akibat dari panas; (c) bermula dari lapisan permukaan ... 15

Gambar 6. Tipikal potongan melintang perkerasan dengan *paving fabric interlayer* 18

Gambar 7. Respon lapis tambah beton aspal terhadap lelah (after IFAI, 1992)..... 19

Gambar 8. Perkuatan geogrid untuk aspal beton 23

Gambar 9. Simulasi kondisi lapangan dengan uji kuat tarik grab 28

Gambar 10. Kondisi lapangan yang memperlihatkan perlunya kuat tarik dan kuat jebol geosintetik28

Gambar 11. Nilai izin (yang tersedia) dan nilai yang diperlukan (desain) sifat-sifat fungsional sebagai fungsi dari waktu 34

Gambar 12. Bagan alir pemilihan geotekstil untuk konstruksi jalan berdasarkan spesifikasi Ditjend Bina Marga.....38

Gambar 13. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan 39

Gambar 14. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan (lanjutan).....40

Gambar 15. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan (lanjutan).....41

Gambar 16. (a) Model distribusi beban; (b) kinematik deformasi tanah dasar; (c) bentuk deformasi geotekstil (After Giroud & Noiray, 1981) 44

Gambar 17. Grafik desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil (after Giroud & Noiray, 1981).....52

Gambar 18. Grafik desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil untuk (a) beban roda tunggal; (b) beban roda ganda; (c) beban roda tandem (after Steward et al., 1977) 55

Gambar 19. Penyebab kegagalan penggunaan geosintetik pada konstruksi jalan di Amerika Serikat (after Baker, 1998) 61

Gambar 20. Hasil uji sensitivitas permeabilitas terhadap jumlah lapis perekat pada *paving fabric* (after Marienfield & Baker, 1998)..... 62

Gambar 21. Hubungan antara gulung, contoh, kupon, dan benda uji (ASTM D 6213-97) 70

Gambar 22. Pengaruh amblasan pada tanah dasar terhadap geosintetik 74

Gambar 23. Tumpang tindih (overlap) yang sederhana 75

Gambar 24. Konstruksi bagian tumpang tindih geosintetk: (a) salah (b) betul (after Pilarczyk, 2000)..... 75

Gambar 25. Sambungan yang dikelim: (a) sambungan berhadapan – (i) satu garis jahitan, (ii) dua garis jahitan, (b) sambungan tersusun (“J”) 78

Gambar 26. Sambungan jenis *stapled*..... 78

Gambar 27. Sambungan tusuk sanggul (*bodkin joint*) .. 79

Gambar 28. Penggunaan geosintetik pada konstruksi jalan tanpa perkerasan (after Ingold & Miller, 1988)..... 85

Gambar 29. Urutan kerja pemasangan geotekstil 89

Gambar 30. Membentuk tikungandenga menggunakan geotekstil 91

Gambar 31. Perbaikan Alur Menggunakan Material Tambahan..... 94

Daftar Tabel

Tabel 1. Fungsi utama lapis geosintetik pada konstruksi jalan tanpa perkerasan berdasarkan nilai CBR (rendaman) lapangan 3

Tabel 2. Mekanisme kegagalan geosintetik 35

Tabel 3. Faktor kapasitas daya dukung untuk desain jalan dengan dan tanpa separator (after Steward et al., 1977)..... 56

Tabel 4. Persyaratan tumpang tindih geostekstil untuk nilai-nilai CBR yang berbeda (after AASHTO, 2000) 88

Tabel 5. Pemilihan geosintetik berdasarkan fungsinya 103

Tabel 6. Sifat-sifat khas polimer yang digunakan untuk memproduksi geosintetik 105

Tabel 8. Persyaratan Kekuatan Geotekstil 108

Tabel 10. Syarat Derajat Daya Bertahan (*survivability*) 109

Tabel 11. Persyaratan Geotekstil Separator..... 112

Tabel 12. Persyaratan Geotekstil untuk Stabilisasi 114

1 Fungsi Geosintetik pada Konstruksi Jalan

1.1. Pengantar

Jalan seringkali harus dibangun di atas tanah dasar yang lunak dan mudah mampat. Sehingga, dalam prakteknya, perlu dilakukan pendistribusian beban lalu lintas untuk mengurangi pembebanan terhadap tanah dasar. Hal ini, umumnya, dilakukan dengan memasang satu lapisan agregat di atas tanah dasar. Lapisan ini harus mempunyai sifat mekanis yang baik dan cukup tebal. Interaksi jangka panjang antara butiran halus tanah dasar dan lapis agregat, akibat pembebanan dinamis, mungkin menyebabkan pemompaan butiran halus tanah dasar ke dalam lapisan agregat dan penetrasi material lapis agregat ke dalam lapisan tanah dasar sehingga menimbulkan deformasi permanen dan pada akhirnya terjadi keruntuhan.

Berdasarkan jenis perkuatan lapis permukaannya, jalan dapat dibedakan menjadi jalan tanpa perkerasan (*unpaved roads*) dan jalan dengan perkerasan (*paved roads*). Jalan tanpa perkerasan adalah jalan yang tidak diberi lapis penutup yang bersifat permanen (yaitu beton aspal (*asphalt concrete*, AC) atau beton semen (*cement concrete*). Jalan tanpa perkerasan, umumnya, terdiri dari satu lapis batu pecah atau kerikil (agregat) yang langsung dihamparkan di atas tanah dasar (*subgrade*). Lapis agregat ini berfungsi sebagai lapis pondasi dan sekaligus sebagai lapis aus. Material sirtu paling banyak digunakan sebagai lapis penutup untuk meningkatkan kenyamanan berkendara. Jalan tanpa perkerasan dapat digunakan sebagai jalan sementara atau jalan permanen

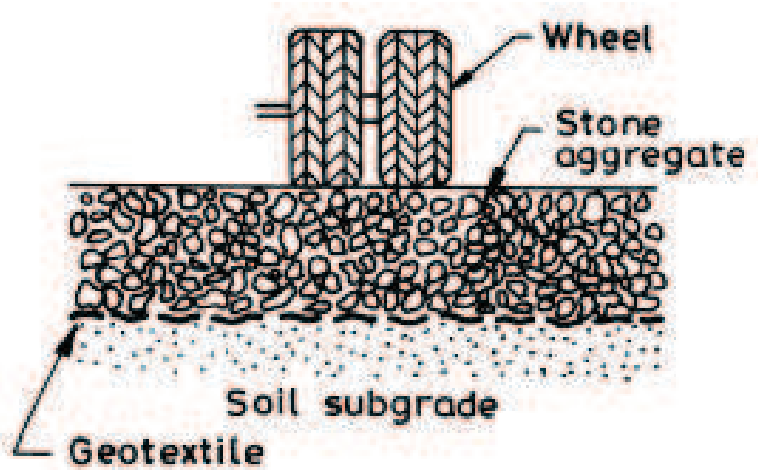
Jika jalan diberi lapis penutup yang keras dan bersifat permanen, jalan tersebut dinamakan sebagai jalan dengan perkerasan (atau perkerasan). Jalan dengan perkerasan, pada kebanyakan kasus, digunakan sebagai jalan permanen yang biasanya tetap digunakan selama 10 tahun atau lebih.

Konstruksi jalan merupakan salah satu bidang yang paling awal menggunakan geosintetik. Penggunaan geotekstil dan geogrid yang berfungsi sebagai separator atau stabilisator pada jalan tanpa perkerasan dan jalan dengan perkerasan, dilaporkan banyak mengalami kesuksesan.

1.2. Jalan tanpa Perkerasan

Geosintetik, terutama geotekstil dan geogrid, telah digunakan secara luas pada jalan tanpa perkerasan dengan tujuan agar biaya konstruksi lebih ekonomis. Hal ini dapat dilakukan dengan mengurangi ketebalan lapis pondasi agregat dan memperbaiki kinerja teknis serta memperpanjang umur layan jalan. Lapis geosintetik, umumnya, dipasang pada antar muka lapis pondasi agregat dan tanah dasar (Gambar 1).

Perkuatan dan separator merupakan dua fungsi utama yang diberikan oleh lapisan geosintetik (Tabel 1). Jika tanah dasarnya lunak (nilai CBR-nya rendah), contohnya: nilai CBR rendamannya < 1, maka perkuatan akan menjadi fungsi utama. Hal ini karena kuat tarik geosintetik termobilisasi oleh besarnya deformasi, yaitu alur yang dalam, misalnya 75 mm, pada tanah dasar.



Gambar 1. Tipikal penampang melintang jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil

Tabel 1. Fungsi utama lapis geosintetik pada konstruksi jalan tanpa perkerasan berdasarkan nilai CBR (rendaman) lapangan

Kuat Geser Undrained (kPa)	CBR Tanah Dasar	Fungsi
90 >	> 3	Separator
60 – 90	2 - 3	Penyaringan dan kemungkinan separator
30 – 60	1 - 2	Penyaringan, separator, dan kemungkinan perkuatan
< 30	< 1	Semua fungsi, termasuk perkuatan

Geosintetik yang digunakan di atas tanah dasar dengan nilai CBR rendaman > 3, fungsi perkuatannya akan menjadi tidak berarti dan pada kasus yang seperti ini fungsi utamanya akan khas sebagai separator. Untuk tanah dasar yang mempunyai nilai CBR rendaman 1 – 3,

geosintetik akan berfungsi sebagai separator, filter, dan perkuatan. Fungsi geosintetik yang seperti ini dinamakan sebagai fungsi stabilisator.

Dengan memasang satu lapis geosintetik, perbaikan kinerja jalan tanpa perkerasan, umumnya, dapat diamati dengan salah satu cara yang berikut:

1. Untuk tebal lapis pondasi agregat tertentu, beban lalu lintas dapat ditingkatkan,
2. Untuk beban lalu lintas yang sama, ketebalan lapis pondasi agregat dapat dikurangi, jika dibandingkan dengan tebal lapis pondasi agregat jika tanpa menggunakan geosintetik.

Penggunaan satu lapis geotekstil khasnya dapat menghemat 1/3 ketebalan lapis pondasi agregat untuk jalan di atas tanah dasar yang lunak hingga sedang (Shukla & Yin, 2006). Giroud et al. (1984) melaporkan pengurangan ketebalan lapis pondasi agregat sekitar 30 % – 50 % dengan memasang geogrid. Perbaikan kinerja jalan tanpa perkerasan dapat juga diamati dalam bentuk pengurangan deformasi permanen hingga mencapai kisaran 25 % - 50 % dengan pemasangan geosintetik, sebagaimana dilaporkan oleh beberapa peneliti (De Garidel & Javor, 1986; Milligan et al., 1986; Chaddock, 1988; Chan et al., 1989; Hirano et al., 1990).

Keuntungan yang diperoleh dari penggunaan geosintetik pada jalan tanpa perkerasan tidak hanya berkaitan dengan kinerja struktural dan durabilitas, tetapi juga berkaitan dengan pelaksanaan konstruksi dan ekonomi. Keuntungan-keuntungan penggunaan geosintetik dapat diringkaskan sebagai berikut:

1. Pada tanah dasar yang sangat lunak, pemasangan geotekstil atau geogrid memungkinkan pelaksanaan konstruksi lapis pondasi agregat tanpa kehilangan yang berlebihan dari material. Fungsinya

sebagai separator seringkali merupakan keuntungan utama geosintetik pada konstruksi di atas tanah dasar yang sangat lunak.

2. Pemadatan agregat lapis pondasi jadi lebih mudah dengan adanya geosintetik pada antar muka tanah dasar dan lapis pondasi agregat, terutama jika terdapat ketidakseragaman setempat-setempat (bagian yang lebih lunak) pada tanah dasar. Hal ini menghasilkan keseragamanan lapis pondasi agregat yang lebih baik dan mengurangi variasi sifat-sifat mekaniknya.

3. Geotekstil yang ditempatkan pada antar muka tanah dasar yang berbutir halus dan lapis pondasi agregat yang berbutir kasar dapat meminimalkan kontaminasi lapis pondasi oleh butiran halus yang terpompa dari tanah dasar akibat dari pembebanan lalu lintas yang berulang-ulang.

4. Kapasitas struktural jalan tanpa perkerasan mengalami perbaikan dengan adanya kemampuan perkuatan dari geosintetik, jika, di bawah beban lalu lintas, perkuatan ditempatkan pada antar muka tanah dasar dan lapis pondasi berperan terhadap transfer tegangan yang lebih efisien dari lapis pondasi ke tanah dasar. Sebagai hasilnya, jalan mengalami alur yang lebih kecil di bawah beban lalu lintas yang berulang-ulang.

5. Geotekstil dengan hidrolik transmitivitas yang tinggi dapat menjamin bahwa bidang kontak antara tanah dasar dan lapis pondasi akan tetap kering selama periode dimana kadar air meningkat akibat infiltrasi air hujan. Jalan tanpa perkerasan tidak mendapatkan keuntungan dari sistem drainase pada lapis permukaan sebagaimana diperoleh pada jalan dengan perkerasan. Sehingga peran tidak mengalirkan air yang dimainkan oleh geosintetik, menjadi kritis terhadap kinerja struktur perkerasan.

1.2.1. Perkuatan/Stabilisator

Pada jalan tanpa perkerasan, keseluruhan respons dari massa tanah yang diperkuat dan kinerja struktur perkerasan yang dihasilkan bergantung pada faktor-faktor yang berikut:

- sifat-sifat tanah dasar, mencakup kondisi muka air tanah di dekat permukaan
- ketebalan dan sifat-sifat lapis pondasi agregat
- lokasi dan sifat-sifat geosintetik yang digunakan sebagai perkuatan/stabilisator
- kondisi pembebanan, mencakup besaran dan jumlah beban yang bekerja.

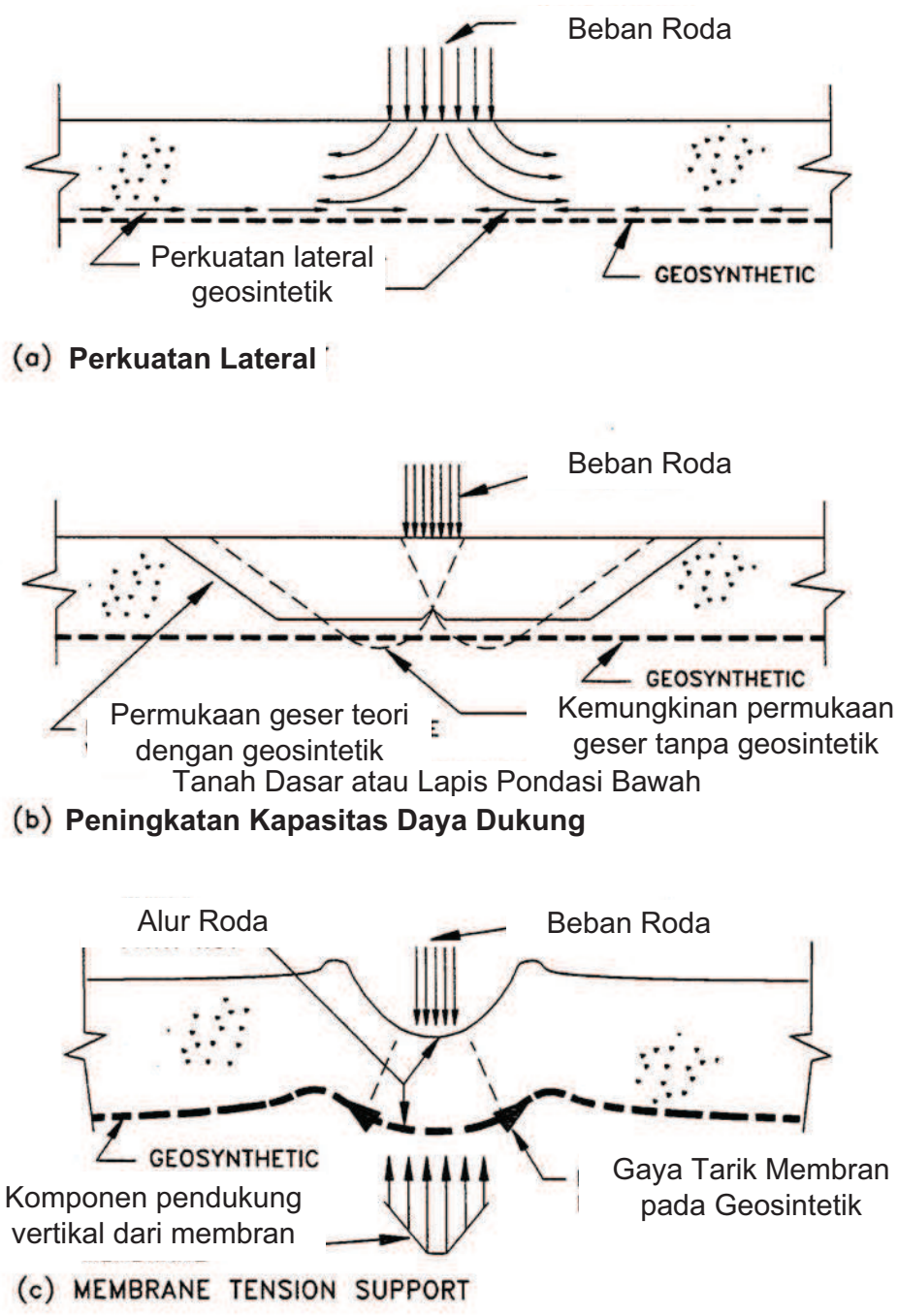
Geosintetik (geogrid dan geotekstil) menyediakan perkuatan pada jalan tanpa perkerasan melalui tiga mekanisme yang berikut:

1. Pengekangan lateral lapis pondasi dan tanah dasar melalui friksi dan kuncian antar agregat, tanah dan geosintetik (Gambar 2-a).
2. Meningkatkan kapasitas daya dukung dengan memaksa permukaan keruntuhan daya dukung yang potensial terjadi di sepanjang permukaan dengan kuat geser yang lebih besar (Gambar 2-b).
3. Sebagai membran yang memberikan dukungan (*membrane support*) terhadap beban roda (Gambar 2-c).

Pada saat lapis pondasi agregat dibebani oleh ban kendaraan, agregat cenderung untuk bergerak atau bergeser secara lateral (Gambar 2-a), kecuali pergerakan lapisan agregat tersebut ditahan oleh tanah dasar atau perkuatan geosintetik. Tanah dasar yang lunak memberikan tahanan lateral yang sangat kecil, sehingga ketika agregat bergerak secara lateral, alur terbentuk pada permukaan agregat dan juga pada

tanah dasar. Geogrid dengan kemampuan penguncian yang baik atau geotekstil dengan kemampuan friksi yang baik dapat menyediakan tahanan tarik terhadap pergerakan lateral agregat. Mekanisme perkuatan geosintetik yang kedua diilustrasikan pada Gambar 2-b. Menggunakan analogi beban roda pada pondasi, perkuatan geosintetik memaksa permukaan keruntuhan daya dukung yang potensial untuk mengikuti pola kekuatan yang lebih besar. Hal ini cenderung meningkatkan kapasitas daya dukung jalan.

Mekanisme perkuatan geosintetik yang ketiga adalah tipe membran pendukung terhadap beban roda, (Gambar 2-c). Pada kasus ini, tegangan beban roda harus cukup besar untuk menyebabkan terjadinya deformasi plastis dan alur pada tanah dasar. Jika geosintetik memiliki modulus regangan (*tensile modulus*) yang cukup tinggi, tegangan tarik akan terbentuk dalam perkuatan, dan komponen vertikal dari tegangan membran ini akan membantu memikul beban roda yang bekerja. Karena tegangan tarik dalam geosintetik tidak dapat terbentuk tanpa terjadinya elongasi maka jalur alur roda (yang lebih dari 100 mm) diperlukan untuk membangun tipe membran pendukung.



Gambar 2. Fungsi Perkuatan yang diberikan geosintetik pada jalan (a) Tahanan lateral, (b) Peningkatan kapasitas daya dukung dan (c) *Membrane Tension Support* (after Haliburton, et al., 1981).

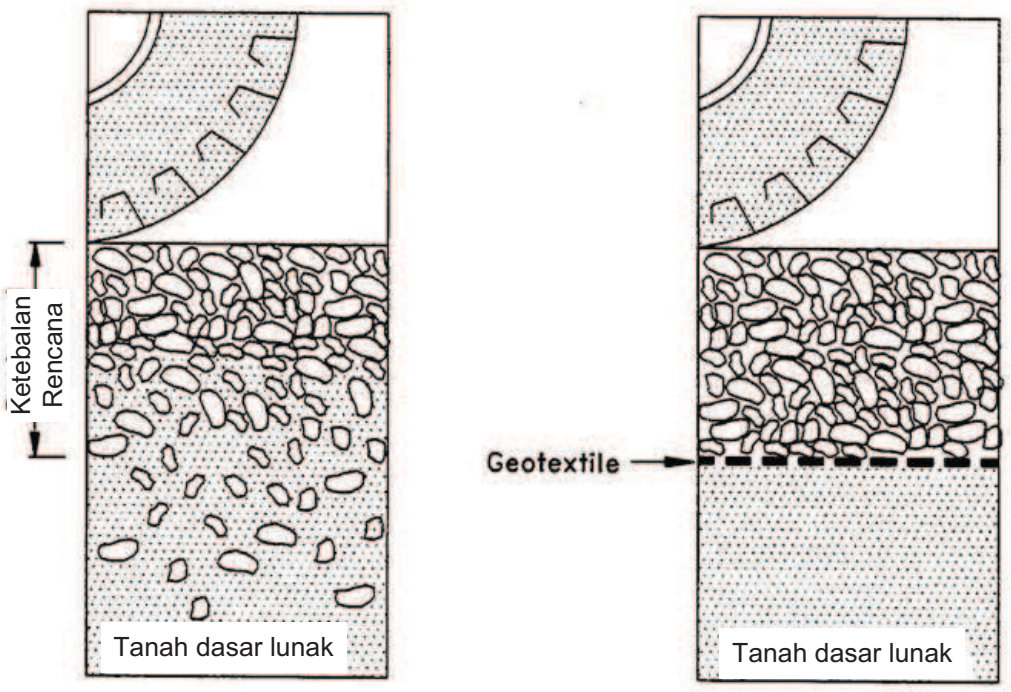
1.2.2. Separator

Pada banyak situasi, butiran halus dari tanah dasar dapat mengkontaminasi lapis pondasi jalan dan mungkin terjadi selama atau setelah pelaksanaan konstruksi. Kontaminasi lapis pondasi mengakibatkan pengurangan kekuatan, kekakuan, dan sifat-sifat drainase, yang mendorong terjadinya kerusakan dan kegagalan dini pada jalan. Butiran halus sekurang-kurangnya 20% (berdasarkan berat) dari tanah dasar yang bercampur dengan agregat lapis pondasi akan mengurangi kapasitas daya dukung lapis pondasi agregat terhadap tanah dasar (Yoder & Wictzak, 1975). Kajian yang dilakukan oleh Jorenby & Hicks (1986) memperlihatkan bahwa penambahan butiran halus yang lebih dari 6 % dapat menurunkan kekakuan lapis pondasi agregat; penambahan butiran halus sampai dengan 2% masih diizinkan untuk mempertahankan sifat-sifat drainase yang mencukupi dari lapis pondasi agregat.

Kemampuan geosintetik untuk menyediakan pemisahan fisik (separator) pada material tanah dasar dan material lapis pondasi agregat atau lapis pondasi bawah agregat selama pelaksanaan konstruksi dan selama masa layan konstruksi jalan diilustrasikan pada Gambar 3.

Separator mencegah pencampuran material tanah dasar dan agregat lapis pondasi dimana pencampuran terjadi disebabkan oleh beberapa jenis kerja mekanis. Kerja mekanis yang menyebabkan pencampuran umumnya timbul dari gaya fisik akibat dari pelaksanaan konstruksi atau operasional lalu lintas. Hal ini dapat menyebabkan agregat lapis pondasi terdorong ke dalam tanah dasar yang lunak dan/atau tanah dasar menembus ke dalam lapis pondasi agregat. Jika pada saat pelaksanaan konstruksi, tanah dasarnya lunak maka lapisan penghamparan awal agregat yang relatif tipis bersama-sama dengan peralatan konstruksi yang berat maka potensi terjadi pencampuran kemungkinan besar terjadi pada saat konstruksi. Sebaliknya, jika tanah dasarnya relatif kering dan kuat selama konstruksi, masih terdapat kemungkinan bahwa

tanah dasar akan menjadi basah dan lebih lunak selama masa layan konstruksi jalan, maka potensi terjadinya pencampuran kemungkinan besar terjadi pada masa layan konstruksi jalan. Separator geosintetik yang didesain dengan tepat memungkinkan lapis pondasi agregat tetap "bersih" dan mempertahankan kekuatan dan sifat-sifat drainasenya.



Gambar 3. Konsep geotekstil sebagai separator pada jalan tanpa perkerasan (after Rankilor, 1981)

Pada penggunaan sebagai separator, berbeda dengan penggunaan sebagai perkuatan/stabilisasi, kekuatan dan modulus dari geosintetik berpengaruh hanya untuk menjamin daya bertahan material selama pelaksanaan konstruksi dan pada masa layan jalan. Penambahan separator memastikan bahwa lapis pondasi, dalam keseluruhannya, akan berkontibusi dan terus berkontribusi terhadap daya dukung struktural bagi beban kendaraan sesuai dengan yang direncanakan; separator geosintetik sendiri tidak terlihat berkontribusi terhadap daya dukung struktural konstruksi jalan.

1.3. Jalan dengan Perkerasan

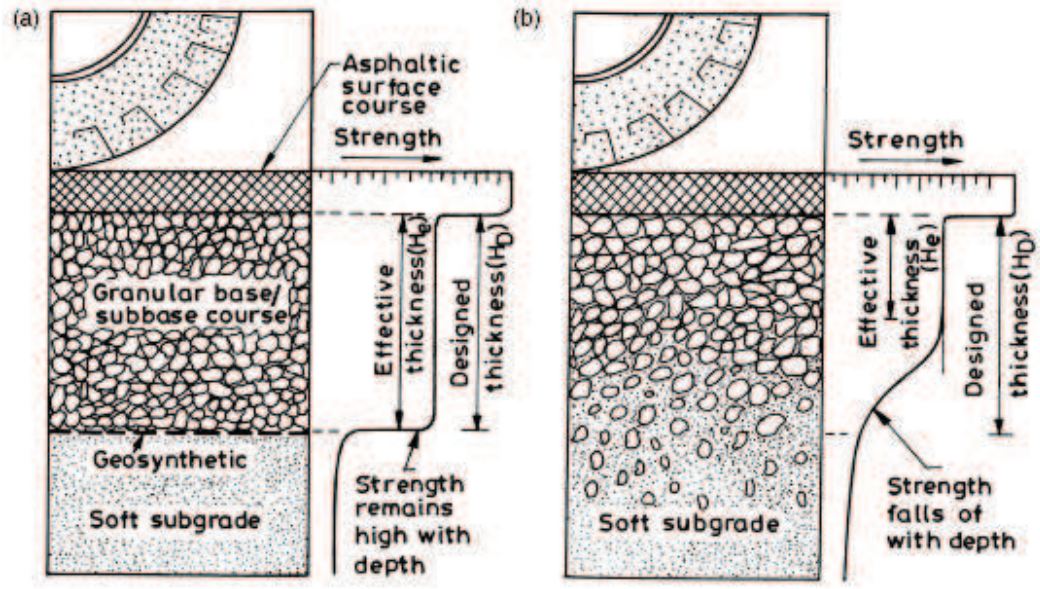
Perkerasan adalah konstruksi yang digunakan untuk tujuan pengoperasian kendaraan bermotor secara selamat dan ekonomis. Perkerasan jalan yang mencakup lajur lalu lintas dan bahu telah dibangun selama lebih dari satu abad. Prinsip-prinsip metode perencanaan dan teknik pelaksanaan konstruksi telah mengalami beberapa perubahan, tetapi perkemangan geosintetik pada empat dekade terakhir telah menyediakan strategi untuk meningkatkan keseluruhan kinerja perkerasan jalan. Pemerintah di kebanyakan negara mencurahkan waktu dan sumber daya pada pembangunan, pemeliharaan, dan perbaikan jalan. Upaya juga sedang dilakukan untuk menerapkan teknologi baru terhadap permasalahan perkerasan lama.

1.3.1. Lapis geosintetik pada permukaan tanah dasar (Separator)

Lapis geosintetik digunakan pada struktur perkerasan jalan biasanya pada antar muka lapis pondasi agregat dan tanah dasar yang lunak selama tahapan awal konstruksi jalan, sebagai lapisan stabilisator, agar kendaraan dan peralatan konstruksi dapat masuk ke lokasi pekerjaan yang memiliki tanah dasar yang lunak, dan agar dapat melakukan pemadatan yang tepat pada beberapa lapis pertama penghamparan agregat. Pada kasus lapis pondasi agregat yang lebih tebal, lapisan geosintetik dapat ditempatkan dalam lapisan pondasi tersebut, terutama dekat tengah-tengah lapisan, untuk memperoleh efek yang maksimum. Adanya lapis geosintetik pada lapis antar muka lapis pondasi agregat dan tanah dasar yang lunak memperbaiki keseluruhan kinerja struktur perkerasan jalan, dengan masa layan yang panjang, karena fungsinya sebagai pemisah (separator), filter, drainase, dan perkuatan (Holtz et al., 1997; Shukla, 2005).

Pada saat pelaksanaan konstruksi dan selama pengoperasian pada masa layan perkerasan jalan, kontaminasi lapis pondasi agregat oleh material

berbutir halus dari tanah dasar yang lunak yang berada di bawahnya mengakibatkan perkembangan kerusakan perkerasan dalam bentuk penurunan struktural (kehilangan kapasitas daya dukung terhadap beban kendaraan) atau penurunan fungsional (berkembangnya kondisi, misalnya permukaan perkerasan menjadi tidak rata dan retak-retak, alur yang berlebih, lubang, dsb., menyebabkan ketidaknyamanan) yang menghasilkan kerusakan dini pada perkerasan (Perkins et al., 2002). Hal ini terutama karena pengurangan ketebalan efektif lapis pondasi agregat, oleh kontaminasi, hingga suatu nilai yang lebih kecil dari nilai desain yang telah ditetapkan. Permasalahan ini dapat berhenti terjadi jika terdapat lapis geosintetik pada antar muka lapis pondasi agregat dan tanah dasar yang lunak karena fungsinya sebagai separator dan/atau filter (Gambar 4).



Gambar 4. Konsep geosintetik sebagai separator pada struktur perkerasan jalan (after Shukla & Yin, 2006)

Penggunaan lapis geosintetik juga membantu meningkatkan sifat-sifat struktural dan mengendalikan alur perkerasan melalui fungsi perkuatannya. Perlu diperhatikan bahwa mekanisme perkuatan yang utama dari geosintetik pada perkerasan (jalan dengan perkerasan)

adalah pengaruh pengekangannya (*confinement effect*), bukan pengaruh membrannya (*membran effect*), sebagaimana yang berlaku pada jalan tanpa perkerasan yang mengijinkan alur yang besar. Pengekangan lateral yang disediakan oleh lapis geosintetik menahan kecenderungan lapis pondasi agregat untuk bergeser di bawah beban lalu lintas yang bekerja pada lapis ausbeton aspal (AC-WC). Pada kasus perkerasan di atas tanah dasar yang teguh (*firm subgrade soils*), pemberian prategang pada geosintetik secara eksternal dapat secara signifikan meningkatkan pengekangan lateral terhadap lapis pondasi agregat. Hal ini juga secara signifikan mengurangi penurunan total dan perbedaan penurunan sistem tanah yang diperkuat akibat dari beban yang bekerja (Shukla & Chandra, 1994). Perlu diperhatikan bahwa pemberian prategang pada geosintetik dapat merupakan teknik yang efektif untuk cukup memperbaiki perilaku perkerasan yang diperkuat dengan geosintetik dalam kondisi umum, jika mengadopsi proses prategang di lapangan dapat dimungkinkan secara ekonomis.

1.3.2. Lapis geosintetik pada permukaan lapis pondasi yang diberi lapis tambah (*overlay*)

Biasanya suatu perkerasan menjadi kandidat untuk dipelihara jika permukaannya memperlihatkan retakan dan lubang yang signifikan. Retakan pada permukaan perkerasan menyebabkan banyak masalah, diantaranya:

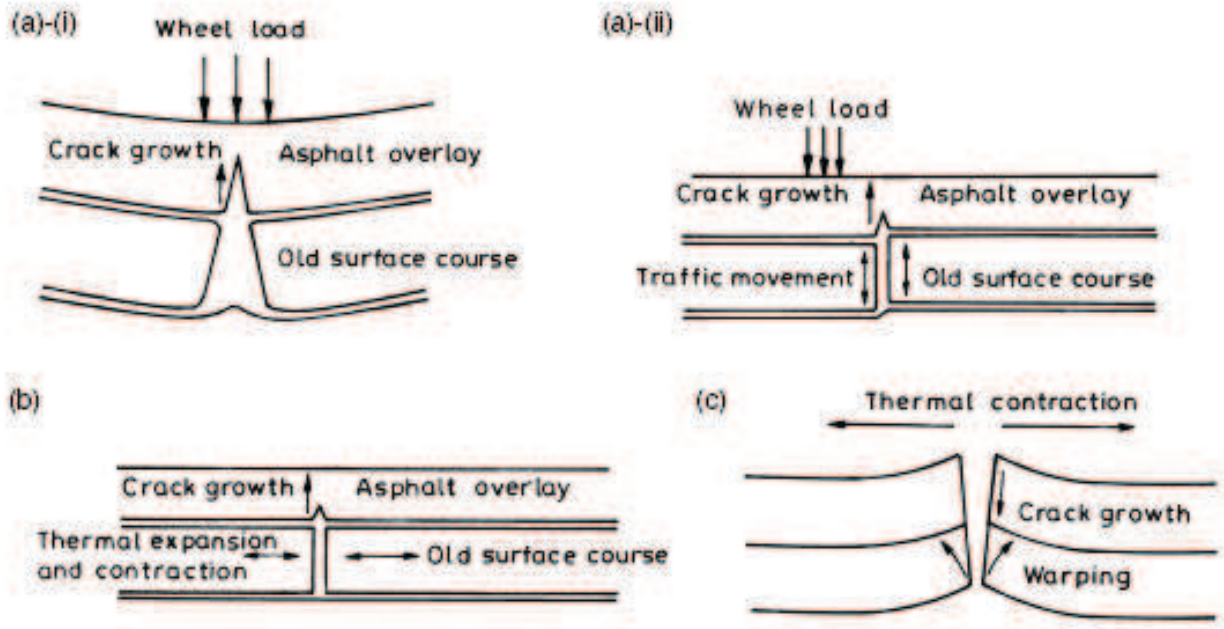
- Ketidaknyaman berkendara bagi pengguna jalan;
- Mengurangi keselamatan;
- Rembesan (*infiltration*) air dan berikutnya mengurangi kapasitas daya dukung tanah dasar;
- Pemompaan partikel tanah melalui celah retakan;

- Penurunan kondisi struktur perkerasan secara progresif di sekitar retakan akibat dari konsentrasi tegangan

Konstruksi lapis tambah berupa lapisan beraspal merupakan cara yang paling umum dilakukan terutama untuk menyediakan aspek kedap air dan perawatan untuk menghambat retak pada perkerasan. Ketebalan minimum lapis tambah beton aspal mungkin diperlukan untuk menyediakan tambahan dukungan terhadap perkerasan yang mengalami penurunan kapasitas strukturalnya. Lapis tambah beton aspal sekurang-kurangnya setebal 25 mm dan ditempatkan di atas permukaan perkerasan yang mengalami kerusakan. Pemberian lapis tambah secara ekonomis adalah praktis, nyaman, dan efektif. Retakan di bawah lapis tambah dengan cepat merambat melalui lapis permukaan yang baru. Gejala ini dinamakan retak reflektif, yang merupakan kerugian utama dari pemberian lapis tambah beton aspal. Karena lapis tambah beton aspal di lain pihak merupakan pilihan yang sangat baik, penelitian dan pengembangan telah difokuskan untuk mencegah terjadinya retakan reflektif.

Retak reflektif dalam lapis tambah beton aspal pada dasarnya merupakan penerusan dari diskontinuitas dalam perkerasan yang rusak yang berada di bawahnya. Pada saat lapis tambah ditempatkan di atas suatu retakan, retak tersebut akan menjalar ke lapis permukaan yang baru. Penyebab pembentukan retakan dan perambatannya dalam lapis tambah beton aspal adalah banyak, tetapi mekanisme yang terlibat dapat dikatagorikan sebagai imbas dari lalu lintas (*traffic induced*), imbas dari panas (*termally induced*), dan bermula dari lapis permukaan (*surface initiated*), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Retakan pada lapis permukaan yang diberi lapis tambah dapat terjadi karena lelah yang disebabkan oleh lalu lintas sebagai hasil dari kondisi pelengkungan yang berulang-ulang dalam struktur perkerasan atau pengaruh geser yang menyebabkan perkerasan pada satu sisi retakan (dalam lapisan lama) bergerak vertikal relatif terhadap sisi retakan yang lainnya selama pergerakan lalu lintas. Beban sumbu yang tinggi atau

lalu lintas yang bertambah selanjutnya dapat meningkatkan tegangan dan regangan dalam perkerasan yang mengakibatkan terjadinya retakan pada lapis permukaan. Pada kasus lapis tambah beton aspal di atas perkerasan kaku, retakan dapat merambat ke lapis tambah pada saat slab beton memuai dan menyusut pada saat terjadi perubahan temperatur. Pemuaian dan penyusutan pada lapis tambah dan lapis beraspal bagian atas dapat mengakibatkan tarikan di antara lapis permukaan yang dapat juga mengakibatkan retakan pada lapis permukaan. Tegangan pada lapis permukaan dalam kondisi maksimumnya pada saat perubahan temperatur mencapai nilai tertinggi. Pada kasus ini, retakan bermula dari lapis permukaan dan merambat ke bawah. Harus diperhatikan bahwa istilah "retak reflektif" seringkali digunakan untuk menggambarkan seluruh jenis retakan ini.



Gambar 5. Mekanisme pembentukan dan perambatan retakan dalam lapis tambah beton aspal: (a) akibat dari lalu lintas – (i) pelengkungan berulang-ulang (*repeated bending*), (ii) pengaruh geser (*shear effect*); (b) akibat dari panas; (c) bermula dari lapisan permukaan

Metode untuk mengendalikan retak reflektif dan menambah umur lapis tambah mempertimbangkan pentingnya dan keefektifan tebal lapis tambah dan spesifikasi campuran beraspal yang tepat. Campuran beraspal telah diperbaiki dan bahkan dimodifikasi dengan menambah bermacam-macam material. Di masa lampau sejumlah potensi solusi juga telah dievaluasi termasuk lapis pondasi agregat-tanpa-pengikat "*cushion courses*" dan perkuatan dengan menggunakan *wire mesh*. Seluruh metode tersebut dilaporkan kurang efektif atau sangat mahal.

Cara yang paling baku untuk memperlambat retak reflektif adalah menambah tebal lapis tambah. Pada umumnya, jika tebal lapis tambah meningkat, ketahanannya terhadap retak reflektif akan meningkat. Akan tetapi, batas atas (*upper limit*) tebal lapis tambah sangat dikendalikan oleh biaya aspal dan bertambahnaya ketinggian struktur perkerasan.

Bahan tambah campuran beraspal tidak menghentikan retak reflektif, tetapi cenderung memperlambat perkembangan retakan dan mengubah celah retakan yang lebar pada lapis perkerasan lama menjadi retakan kecil yang banyak (*multiple small cracks*) pada lapis tambah. Pencampuran serat kaca, serat logam, atau polimer di dalam campuran beraspal sebelum penghamparan menciptakan campuran beraspal modifikasi (*modified asphalt*) atau campuran beraspal optimasi (*optimized asphalt*), yang tidak selalu disyaratkan karena jauh lebih mahal daripada campuran beraspal yang tidak dimodifikasi dan hubungan antara investasi dan perbaikan belum dikembangkan

Ketahanan terhadap retak dari lapis tambah dapat juga ditingkatkan melalui sistem antar lapis (*interlayer systems*). Antar lapis adalah suatu lapisan di antara perkerasan lama dan lapis tambah yang baru, atau dalam lapis tambah, untuk menciptakan suatu sistem lapis tambah. Keuntungan sistem antar lapis geosintetik terdiri dari:

- Perkerasan menjadi kedap air;
- Menghambat munculnya retak reflektif;

- Memperpanjang umur layan lapis tambah;
- Menambah ketahanan terhadap retak lelah;
- Menghemat tebal lapis tambah hingga 50%.

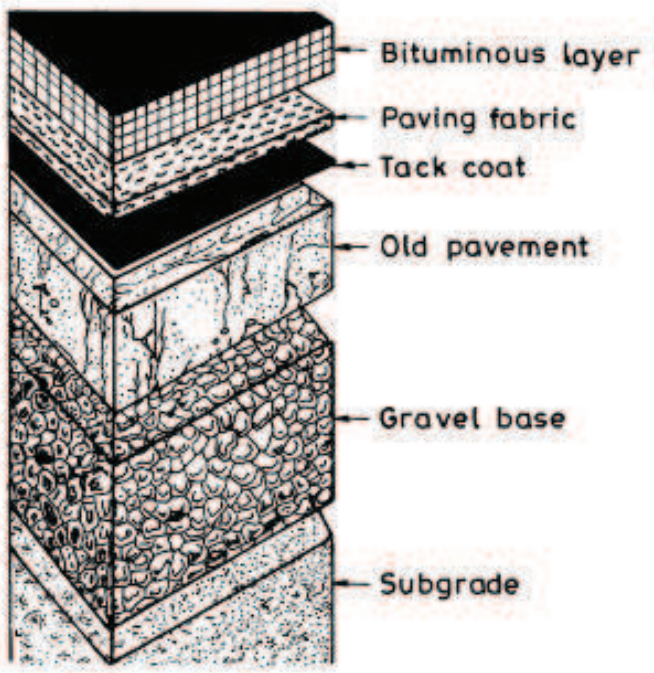
Lapis geosintetik, khususnya lapis geotekstil, digunakan di bawah lapis tambah beton aspal, yang ketebalannya bervariasi mulai dari 25 mm hingga 100 mm, perkerasan lentur atau perkerasan kaku. Lapis geotekstil umumnya dikombinasikan dengan *asphalt sealant* atau lapis perekat untuk membentuk suatu *membrane interlayer system* yang dikenal sebagai *paving fabric interlayer*. Gambar 6 memperlihatkan susunan lapisan perkerasan yang dipasang *paving fabric interlayer*. Jika dipasang dengan tepat, lapis geotekstil di bawah lapis tambah beton aspal mempunyai fungsi utama sebagai berikut (Holtz et al., 1997; Shukla and Yin, 2004):

- Penghalang zat cair (*fluid barrier*), jika diisi dengan aspal, melindungi lapisan di bawahnya dari degradasi sebagai akibat dari rembesan air dari permukaan perkerasan;
- Bantalan (*cushion*), yaitu, *stress-relieving layer* untuk lapis tambah, menghambat dan mengendalikan beberapa jenis retakan yang umum, termasuk retak refleksi.

Pada umumnya, *paving fabric* tidak digunakan untuk mengganti kerusakan struktural pada perkerasan eksisting. Namun demikian, fungsi di atas berkombinasi memperpanjang umur layan lapis tambah dan perkerasan jalan dan mengurangi biaya pemeliharaan dan meningkatkan tingkat layanan perkerasan.

Khasnya perkerasan mengizinkan 30% – 60% air hujan merembes dan memperlemah struktur perkerasan. Geotekstil yang berisi aspal dapat berfungsi sebagai penghalang zat cair sehingga sangat menguntungkan jika kekuatan tanah dasar sensitif terhadap kadar air yang tinggi. Sebenarnya, kadar air yang berlebih pada tanah dasar merupakan

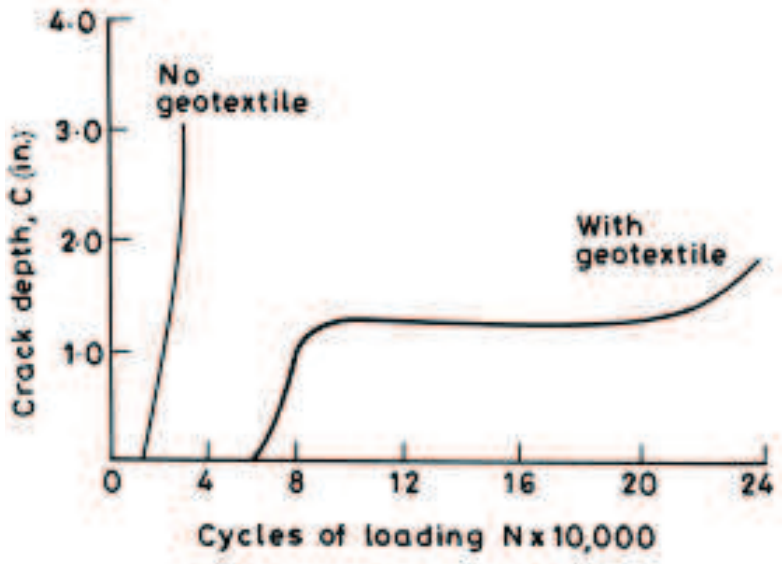
penyebab utama kegagalan dini struktur perkerasan. Kendaraan berat dapat menyebabkan kerusakan yang parah terhadap jalan, terutama jika tanah dasarnya basah dan mengalami perlemahan. Tegangan air pori dapat juga mendorong butiran halus tanah ke dalam rongga di dalam lapis pondasi bawah atau lapis pondasi dan memperlemahnya jika tidak dipasang geotekstil yang dapat berfung sebagai separator atau filter. Oleh karena itu, upaya-upaya harus dilakukan untuk mempertahankan kadar air pada tanah dasar dalam kondisi relatif konstan dan rendah dengan cara menghentikan rembesan air ke dalam perkerasan dan menyediakan drainase perkerasan yang memadai.



Gambar 6. Tipikal potongan melintang perkerasan dengan *paving fabric interlayer*

Stress-relieving interlayer memperlambat perkembangan retak refleksi pada lapis tambah dengan menyerap tegangan yang disebabkan oleh retakan pada perkerasan lama di bawahnya. Tegangan diserap dengan mengizinkan sedikit pergerakan dalam *paving fabric interlayer* di bagian dalam perkerasan tanpa merusak lapis tambah beton aspal secara

signifikan. Sebenarnya, penambahan *stress-relieving interlayer* mengurangi kekakuan geser antara perkerasan lama dan lapis tambah, menciptakan *buffer zone* (atau *break layer*) yang memberi lapis tambah suatu tingkat ketidakbergantungan terhadap pergerakan pada perkerasan lama. Perkerasan dengan *paving fabric interlayer* juga mengalami jauh lebih sedikit retakan internal yang membentuk stres dibandingkan perkerasan tanpa *paving fabric interlayer*. Inilah alasan umur lelah perkerasan dengan *paving fabric interlayer* adalah beberapa kali lebih lama dari perkerasan *paving fabric interlayer*, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 7. *Stress-relieving interlayer* juga merupakan bagian perkerasan yang kedap air, sehingga jika terjadi retakan pada lapis tambah, air tidak dapat memperburuk situasi.



Gambar 7. Respon lapis tambah beton aspal terhadap lelah (after IFAI, 1992)

Geotekstil, umumnya, mempunyai kinerja terbaik jika digunakan untuk beban yang berhubungan dengan kerusakan lelah, sebagai contoh retak kulit buaya. Retak lelah (*fatigue cracks*), terutama yang disebabkan oleh terlalu besarnya lendutan struktur perkerasan, lebar celah retakannya harus kurang dari 3 mm untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Geotekstil yang digunakan sebagai *paving fabric interlayer* untuk memperlambat retak lelah yang disebabkan oleh pemuaian dan

penyusutan aktual dari lapisan di bawahnya, secara umum telah ditemukan tidak efektif. Untuk memperoleh hasil terbaik pada perkerasan lama yang mengalami retak, lapis geotekstil dihamparkan di atas keseluruhan permukaan perkerasan atau di atas retakan, dilebihkan 15 – 60 cm di masing-masing sisinya, setelah penghamparan lapis perata beton aspal yang diikuti dengan pemberian lapis perekat; dan kemudian lapis tambah beton aspal ditempatkan di atasnya Gambar 7. Teknik konstruksi ini diadopsi dengan tetap mengingat bahwa kebanyakan kerusakan terjadi pada lapis tambah merupakan hasil dari kerusakan yang tidak diperbaiki pada perkerasan lama sebelum diberi lapis tambah.

Pemilihan geosintetik untuk lapis tambah beton aspal diperumit dengan variabel kondisi kerusakan struktur perkerasan lama. Kerusakan dapat bervariasi mulai dari retak kulit buaya yang sederhana pada permukaan perkerasan hingga lubang-lubang besar yang disebabkan oleh kegagalan tanah dasar yang berada di bawahnya. Harus diperhatikan bahwa sistem lapis tambah juga *paving fabric interlayer* akan gagal jika kerusakan yang sudah ada pada perkerasan eksisting tidak diperbaiki dulu sebelum dilakukan pemberian lapis tambah dan/atau *faving fabric.*

Kelas geosintetik yang dipilih untuk *paving fabric* harus mempunyai kemampuan menyerap dan menahan lapis perekat yang disemprotkan pada permukaan perkerasan lama dan secara efektif membentuk suatu lapis penghalang zat cair yang permanen dan *cushion layer*. Kelas geosintetik untukpaving fabric yang paling umum adalah *lightweight needle – punched nonwoven geotextiles*, dengan berat per satuan luas sebesar 120 g/m^2 – 200 g/m^2. Geotekstil jenis anyam (*woven geotextile*) tidak berfungsi efektif sebagai *paving fabrics*, karena tidak dapat membentuk membran yang *impermeable*. Jenis geotextile ini tidak berfungsi efektif sebagai *stress-relieving layer* untuk membantu mengurangi retakan.

Pengujian-pengujian harus dilakukan untuk menentukan kemampuan menahan aspal dari *paving fabric* agar dapat dievaluasi keefektifan penggunaannya. Prosedur pengujian yang paling banyak digunakan,

setelah penimbangan berat masing-masing benda uji, selanjutnya direndam di dalam aspal pada temperatur tertentu, umumnya 135°C selama 30 menit. Benda uji selanjutnya digantung pada salah satu ujungnya di dalam oven untuk dikeringkan pada temperatur 135°C selama 30 menit dan juga dilakukan pengeringan selama 30 menit pada ujung yang lainnya sehingga fabric benar jenuh secara seragam. Pada saat benda uji selesai direndam di dalam aspal dan dikeringkan, masing-masing benda uji ditimbang, dan tahanan aspal (R_B) dihitung sebagai berikut (ASTM D61-40-400):

$$R_B = \frac{W_{sat} - W_f}{\gamma_B A_f}$$

dengan pengertian:

W_{sat} = berat contoh uji dalam keadaan jenuh, dinyatakan dalam kg;

W_f = berat *faving fabric*/aspal pada temperatur 21°C dinyatakan dalam kg;

A_f = luas benda uji *paving fabric*, dinyatakan dalam m^2;

γ_B = berat isi aspal pada temperatur 21°C, dinyatakan dalam kg/liter

Nilai rata-rata tahanan aspal dari benda uji dihitung dan dilaporkan, dinyatakan dalam l/m^2.

Paving fabric yang diselimuti dengan aspal modifikasi juga tersedia di pasaran dalam bentuk *strip*. Produk ini memperlihatkan fungsi kedap air dan *stress relief* yang sama dengan *impregnated paving fabric* di lapangan; akan tetapi, *paving fabric* tersebut lebih mahal. Penggunaannya ekonomis jika luas perkerasan yang memerlukan *paving fabric interlayer* hanya sedikit. *Precoated paving fabric* relatif baik untuk penambalan dan pengkedapairan lubang.

Komposit geosintetik dan membran aspal yang kuat digunakan, terutama pada permukaan retakan dan sambungan perkerasan kaku

yang diberi lapis tambah aspal beton. Geogrid dan komposit geogrid-geotekstil juga tersedia di pasaran untuk digunakan pada lapis tambah yang difungsikan sebagai perkuatan antar lapis untuk mencegah retak, jika ada retakan, menghilangkan tegangan rambatan retak di sepanjang arah memanjangnya. Telah dilaporkan bahwa perkuatan geogrid, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8, jika digunakan di bawah lapis tambah, dapat mengurangi perambatan retak sampai dengan 5 kalinya jika mekanisme kegagalan lelah disebabkan oleh beban lalu lintas (Terram Ltd, UK). Kajian yang dilakukan oleh Ling & Liu (2001)menunjukan bahwa perkuatan geogrid meningkatkan kekakuan dan kapasitas daya dukung beban perkerasan beton aspal. Dalam kondisi pembebanan dinamik, umur lapis beton aspal bertambah dengan adanya perkuatan geosintetik. Kekakuan geogrid dan kunciannya dengan beton aspal berperan terhadap pengekangan.

Harus diperhatikan bahwa pemilihan lokasi yang tepat untuk penggunaan *paving geosynthetic* bergantung pada integritas struktural perkerasan dan jenis retakan – bukan pada kondisi permukaan perkerasannya. Agar dihasilkan kinerja yang memuaskan, pemasangannya pada perkerasan harus dilaksanakan dengan tepat, tanpa adanya perbedaan pergerakan vertikal atau horizontal yang signifikan di antara retakan atau sambungan dan tidak ada lendutan setempat-setempat akibat beban desain (Marienfeld & Smiley, 1994).

Gambar 8. Perkuatan geogrid untuk aspal beton

1.4. Soal Latihan

Pilihlah jawaban yang paling tepat untuk pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

1. Geosintetik yang berfungsi sebagai perkuatan mempunyai kemampuang
   (a) Menahan tegangan yang bekerja.
   (b) Mencegah deformasi yang berlebih pada struktur geoteknik.
   (c) Menjaga kestabilan masa tanah.
   (d) Semua jawaban benar.
2. Geosintetik yang berfungsi sebagai filter dapat juga memberikan
   (a) Perkuatan.
   (b) Separator.

(c) Penghalang zat cair.

(d) Semua jawaban di atas salah.

3. Geosintetik yang berikut ini dapat berfungsi sebagai penghalang zat cair sebagai fungsi utamanya:

(a) Geotekstil dan geokomposit.

(b) Geotekstil dan geogrid.

(c) Geotekstil dan geonet.

(d) Semua jawaban di atas salah.

4. Dari jenis polimer berikut ini, yang manakah yang mempunyai modulus elatisitas paling tinggi?

(a) Polypropylene.

(b) Polyethylene.

(c) Polyester.

(d) Polyvinyl chloride.

5. Dari pernyataan berikut ini, manakah yang salah?

(a) Untuk beberapa penerapan, geosintetik dipilih berdasarkan pendekatan empirik.

(b) Faktor lingkungan dan kondisi lokasi pekerjaan sangat mempengaruhi pemilihan geosintetik.

(c) Jenis polimer dan proses produksi harus dipertimbangkan pada saat melakukan pemilihan geosintetik.

(d) Semua jawaban di atas tidak ada yang salah.

2 Sifat-Sifat Geosintetik

2.1. Pengantar

Geosintetik mencakup bermacam-macam material, penggunaan, dan lingkungan. Evaluasi sifat-sifat geosintetik penting sekali untuk memastikan bahwa geosintetik tersebut akan memberikan kinerja yang mencukupi sesuai dengan fungsi yang diinginkan pada saat digunakan di lapangan. Mungkin tidak seluruh sifat-sifat geosintetik penting untuk tiap-tiap penerapan geosintetik. Sifat-sifat dan karakteristik geosintetik yang diperlukan bergantung pada penggunaan dan fungsi yang diharapkan pada penerapan tertentu.

Pada bagian ini diuraikan sifat-sifat geosintetik yang penting dalam penggunaannya pada konstruksi jalan. Sifat-sifat geosintetik lainnya diuraikan secara lengkap pada Volume 1 modulu ini.

2.2. Sifat-sifat Fisik

Sifat-sifat fisik geosintetik yang perlu diketahui adalah berat jenis, massa per satuan luas, ketebalan dan kekakuan. Sifat-sifat tersebut disebut sifat indeks geosintetik. Khusus untuk geonet dan geogrid, terdapat sifat-sifat fisik lainnya yang penting, yaitu jenis struktur, jenis persilangan, ukuran bukaan (*aperture*) dan bentuk, dimensi rib dan sudut planar yang dibentuk oleh rib-rib yang bersilangan. Sifat-sifat fisik geosintetik lebih dipengaruhi oleh suhu dan kelembaban dibandingkan dengan tanah dan batuan. Oleh karena itu untuk mendapatkan hasil

yang konsisten pada saat pengujian di laboratorium, dibutuhkan pengendalian suhu dan kelembaban selama pengujian.

Berat jenis merupakan sifat yang penting karena sifat ini dapat membantu dalam mengidentifikasi jenis polimer dasar geosintetik.

Massa per satuan luas geosintetik berguna untuk memberikan indikasi tentang harga dan sifat-sifat lainnya seperti kuat tarik, kuat robek, kuat tusuk dan sebagainya. Nilai massa per satuan luas juga dapat digunakan untuk uji kendali mutu terhadap bahan geosintetik yang dikirimkan ke lapangan jika dipersyaratkan dalam spesifikasi.

Ketebalan geosintetik merupakan sifat dasar yang digunakan untuk kendali mutu geosintetik. Tebal geosintetik biasanya tidak dicantumkan dalam spesifikasi geotekstil kecuali untuk geotekstil tak-teranyam yang tebal. Akan tetapi tebal geosintetik harus dicantumkan untuk spesifikasi geomembran. Tebal geosintetik juga diperlukan untuk menghitung parameter lainnya seperti permeabilitas sejajar bidang geotekstil dan permeabilitas tegak lurus bidang geotekstil (daya tembus air).

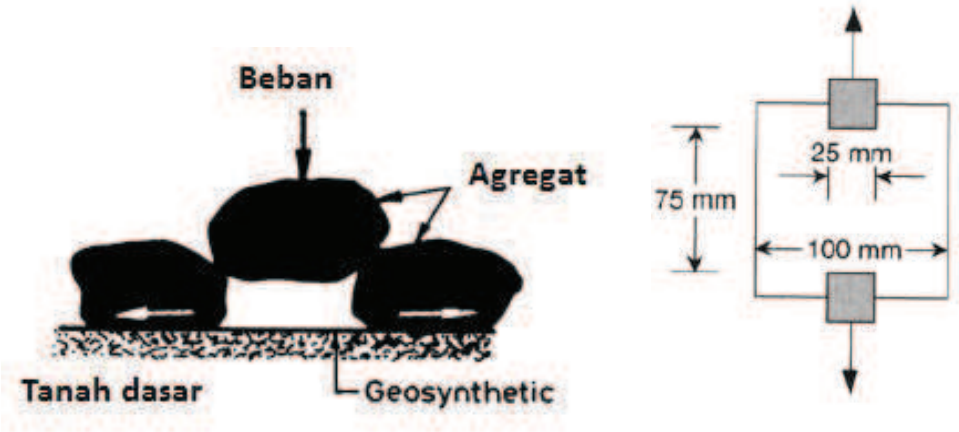
Kekakuan geosintetik menyatakan kemampuan geosintetik untuk menahan lendutan akibat beban sendiri. Sifat kekakuan mengindikasikan kelayakan geosintetik untuk memberikan permukaan/bidang kerja yang sesuai untuk pelaksanaan konstruksi. Daya bertahan (*survivability*) atau kemudahan pelaksanaan (*workability*/*constructability*) geosintetik didefinisikan sebagai kemampuan geosintetik untuk mendukung/menahan personil lapangan yang sedang bekerja pada saat belum diberi material penutup dan mendukung/menahan peralatan konstruksi selama tahap awal penghamparan material penutup. Daya bertahan geosintetik bergantung pada kekakuan geosintetik dan faktor lainnya, misalnya daya serap terhadap air dan daya apung. Geotekstil atau geogrid yang mempunyai kekakuan tinggi sangat cocok digunakan pada saat melakukan konstruksi di atas tanah yang sangat lunak.

Langkah-langkah pengujian dan standar rujukan untuk mendapatkan sifat-sifat fisik geosintetik diuraikan secara lebih lengkap dalam Volume 1 modul ini.

2.3. Sifat-sifat Mekanik

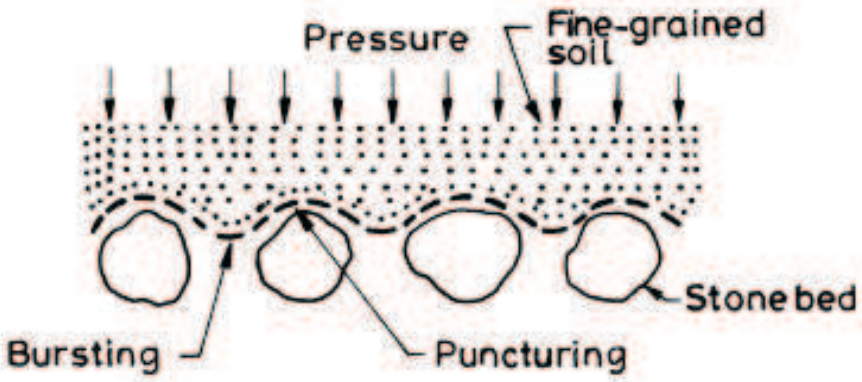
Sifat-sifat mekanik merupakan sifat penting untuk geosintetik yang digunakan untuk menahan kerusakan saat pemasangan dan menahan beban. Sifat mekanik yang penting untuk penggunaannya sebagai separator dan stabilisator pada konstruksi jalan yang berhubungan ketahanan geosintetik pada saat pemasangan di lapangan adalah sebagai berikut:

- **Kuat tarik** (*tensile strength*) adalah tahanan maksimum geosintetik terhadap deformasi yang disebabkan oleh tarikan yang akibat dari gaya luar. Seluruh aplikasi geosintetik bergantung pada sifat mekanik ini baik sebagai fungsi primer maupun fungsi sekunder.
- **Kuat grab** (*grab strength*) adalah salah satu jenis kuat tarik geosintetik. Uji kuat (tarik) grab dilakukan untuk mensimulasikan kondisi lapangan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9.
- **Kuat sobek** (*tear strength*) adalah kemampuan geosintetik untuk menahan tegangan yang menyebabkan terjadinya penambahan panjang sobekan dari sobekan yang sudah ada. Biasanya hal ini terjadi saat pemasangan.
- **Kuat sambungan** (*seam strength*) adalah tahanan tarik maksimum (kN/m) dari sambungan dua lembar geosintetik. Kuat tarik sambungan biasanya dinyatakan dengan efisiensi sambungan (E).
- **Kuat tusuk** (*puncture strength*) adalah kemampuan geosintetik menahan tegangan lokal yang diakibatkan oleh tusukan benda seperti batu dan akar tanaman.



Gambar 9. Simulasi kondisi lapangan dengan uji kuat tarik grab

Pada Gambar 10 memperlihatkan simulasi kondisi lapangan yang memperlihatkan perlunya kuat tusuk geosintetik.



Gambar 10. Kondisi lapangan yang memperlihatkan perlunya kuat tarik dan kuat jebol geosintetik

Langkah-langkah pengujian dan standar rujukan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik geosintetik diuraikan secara lebih lengkap dalam Volume 1 modul ini.

2.4. Sifat-sifat Hidrolik

Sifat-sifat hidrolik geosintetik sangat berpengaruh terhadap kemampuan geosintetik dalam mengalirkan zat cair. Sifat-sifat hidrolik geosintetik yang penting untuk penggunaannya sebagai separator dan stabilisator pada konstruksi jalan adalah ukuran pori-pori (*apparent opening size, AOS*) dan daya tembus air (permitivitas, *permitivitty*)

- **Ukuran pori-pori geotekstil** adalah suatu sifat yang mengindikasikan perkiraan partikel terbesar yang akan secara efektif melewati geoteksil.
- **Permitivitas** adalah kemampuan geosintetik untuk mengalirkan zat cair.

Langkah-langkah pengujian dan standar rujukan untuk mendapatkan sifat-sifat hidrolik geosintetik diuraikan secara lebih lengkap dalam Volume 1 modul ini.

2.5. Soal Latihan

Pilihlah jawaban yang paling tepat untuk pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

1. Sifat fisik geosintetik yang paling penting dan sangat erat hubungannnya dengan kinerja geosintetik adalah
   (a) Ketebalan.
   (b) Massa per satuan luas.
   (c) Kekuatan.
   (d) Kekakuan.
2. Polimer dasar geosintetik dapat diidentifikasi dengan menentukan
   (a) Massa per satuan luas.

(b) Kekuatan.

(c) Berat jenis.

(d) Semua jawaban di atas salah.

3. Kemampuan geosintetik untuk menahan tegangan lokal yang diakibatkan oleh tusukan benda seperti batu dan akar tanaman dinamakan

(a) Kuat tarik.

(b) Kuat robek.

(c) Kuat jebol.

(d) Kuat tusuk.

3 Desain Geosintetik

3.1. Pengantar

Penggunaan geosintetik dalam rekayasa sipil ditujukan agar sistem tanah-geosintetik dapat berfungsi melebihi umur rencana yang diharapkan. Umur rencana untuk penggunaan jangka pendek pendek khasnya adalah 5 tahun, penggunaan sementara adalah 25 tahun dan penggunaan permanen adalah 50 tahun – 100 tahun atau lebih. Geosintetik dapat mempunyai fungsi jangka pendek meskipun sistem tanah-geosintetik bersifat permanen; sebagai contoh timbunan di atas tanah pondasi yang lemah mungkin hanya memperlukan perkuatan geosintetik pada saat terjadinya konsolidasi dan sampai dengan pondasi yang lemah tersebut mendapatkan kekuatan yang mencukupi untuk mendukung beban timbunan. Umur rencana sistem tanah-geosintetik ditetapkan oleh pemilik pekerjaan atau perencana dan ditetapkan pada tahap perencanaan teknis (desain).

Tanggung jawab utama perencana adalah melakukan perencanaan teknis suatu fasilitas yang memenuhi persyaratan operasional pemilik pekerjaan selama umur rencananya, sesuai dengan persyaratan spesifikasi atau standar, dan memenuhi atau melebihi persyaratan minimum yang diizinkan. Perencana harus mengetahui kemungkinan batasan-batasan pada saat konstruksi dan pemeliharaan. Kondisi kemasyarakatan, persyaratan keselamatan, dan dampak lingkungan juga dapat mempengaruhi hasil akhir dari proses perencanaan tekniks. Berdasarkan pada bukti-bukti ini dan tujuan fungsi utama konstruksi, persyaratan-persyaratan teknis harus ditetapkan.

3.2. Metodologi Perencanaan

Perencanaan teknis struktur yang menggabungkan geosintetik dimaksudkan untuk menjamin kekuatan, stabilitas, dan layanan selama jangka waktu yang direncanakan. Terdapat empat metode perencanaan utama untuk struktur atau sistem yang berhubungan dengan geosintetik, yaitu:

Desain berdasarkan pengalaman (design-by-experience)

Metode ini didasarkan pada pengalaman di masa lalu. Metode ini direkomendasikan jika penggunaannya tidak didorong oleh fungsi dasar atau jika penggunaannya memerlukan metode uji yang tidak realistik.

Desain berdasarkan harga geosintetik dan alokasi dana

Pada metode ini, harga satuan maksimum geosintetik dihitung dengan membagi alokasi dana yang tersedia dengan luas pekerjaan yang akan dipasang geosintetik. Geosintetik dengan kualitas terbaik kemudian dipilih berdasarkan batasan harga satuan yang ditetapkan berdasarkan alokasi dana. Karena lemahnya dari aspek teknis, sekarang metode ini jarang direkomendasikan oleh standar yang berlaku.

Desain berdasarkan spesifikasi

Metode ini seringkali terdiri dari suatu matrik sifat-sifat, dimana bidang penerapan geosintetik yang umum digunakan disusun bersama-sama dengan nilai sifat-sifat minimum geosintetik (atau kadang-kadang sifat-sifat maksimumnya). Matrik sifat-sifat ini biasanya disiapkan berdasarkan pengalaman setempat dan kondisi lapangan berdasarkan penerapan rutin oleh kebanyakan badan pemerintah dan pengguna geosintetik dalam jumlah besar. Sebagai contoh, AASHTO M288-00 menyediakan metode yang sangat cepat untuk mengevaluasi dan merencanakan geotekstil yang berfungsi sebagai filter, separator, stabilisator, dan lapis pengendalian erosi bagi perencana dan konsultan pengendali mutu di lapangan.

Desain berdasarkan fungsi

Metode ini merupakan pendekatan desain yang lebih sesuai untuk geosintetik. Pendekatan umum dari metode ini mencakup langkah-langkah yang berikut:

1. Mengevaluasi penerapan khusus yang diperlukan, mendefinisikan fungsi utama geosintetik, apakah sebagai perkuatan, separator, filter, drainase, atau penghalang zat cair.
2. Melakukan inventarisasi beban dan pembatasan-pembatasan yang disebabkan oleh penggunaan geosintetik.
3. Mendefinisikan umur rencana geosintetik.
4. Menghitung, memperkirakan, atau menentukan sifat-sifat fungsional geosintetik sesuai fungsi utamanya (yaitu kekuatan, permitivitas, transmitivitas, dll.).
5. Menguji atau mendapatkan sifat-sifat izin geosintetik (sifat-sifat sisa pada akhir umur rencana).
6. Menghitung faktor keamanan (FK) dengan menggunakan persamaan yang berikut:

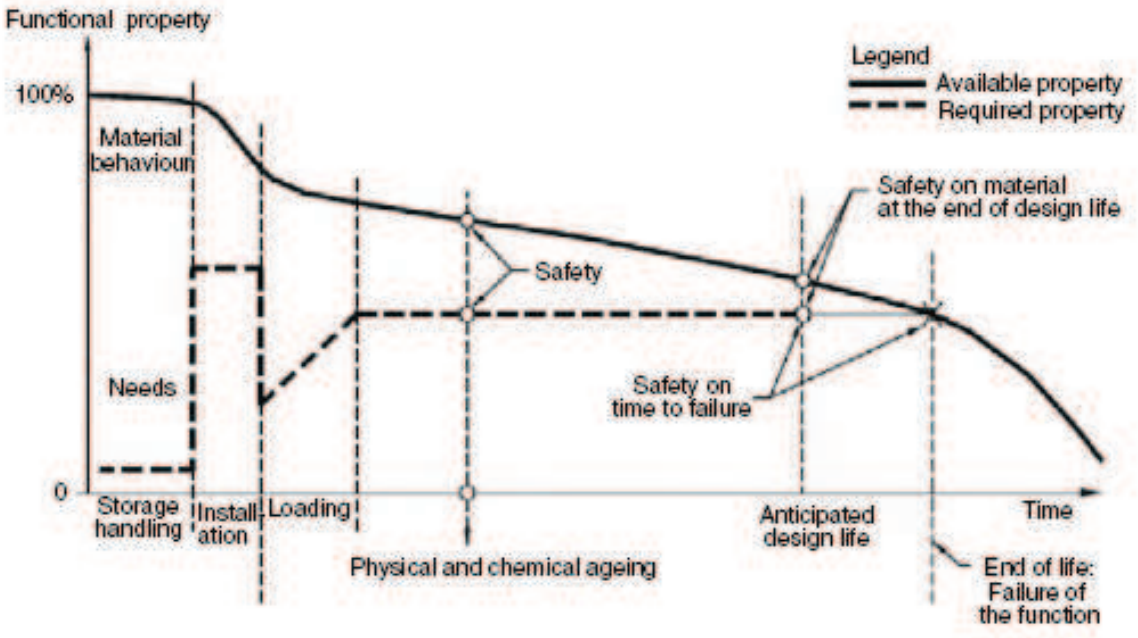
$$FK = \frac{\text{Sifat-sifat izin (atau hasil pengujian)}}{\text{Sifat-sifat yang diperlukan (atau desain)}}$$

7. Jika faktor keamanan tidak memenuhi, periksa geosintetik dengan sifat-sifat yang lebih tepat
8. Jika faktor keamanan memenuhi, periksa jika ada fungsi lain geosintetik yang juga penting, dan ulangi langkah di atas.
9. Jika terdapat beberapa geosintetik yang memenuhi persyaratan faktor keamanan, pilih geosintetik berdasarkan *cost–benefit ratio*, termasuk berdasarkan pengalaman dalam hal ketersedian bahan di pasaran dan dokumentasi produk.

Metode desain berdasarkan fungsi sangat berlandaskan pada identifikasi fungsi utama yang akan diberikan oleh geosintetik. Untuk penerapan tertentu, akan terdapat satu atau lebih fungsi dasar geosintetik yang akan diharapkan selama umur rencananya. Identifikasi fungsi utama geosintetik yang akurat adalah sangat penting. Karenanya, identifikasi fungsi-fungsi utama geosintetik harus dilakukan dengan hati-hati.

Seluruh perencanaan teknis geosintetik harus dimulai dengan evaluasi tingkat kekritisan dan tingkat keparahan kondisi proyek. Perencana harus selalu memperhatikan mekanisme kegagalan geosintetik yang mengakibatkan tidak tercapainya kinerja (Tabel 2).

Sifat-sifat geosintetik harus dipilih untuk mencegah terjadinya penurunan kinerja yang berlebih pada kondisi tanah dan lingkungan tertentu selama keseluruhan umur rencana, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 11 dan faktor keamanan yang tepat harus diberlakukan dalam desain.



Gambar 11. Nilai izin (yang tersedia) dan nilai yang diperlukan (desain) sifat-sifat fungsional sebagai fungsi dari waktu

Tabel 2. Mekanisme kegagalan geosintetik

Fungsi	Jenis kegagalan	Kemungkinan Penyebab
Perkuatan	▪ Deformasi yang besar pada struktur tanah-geosintetik ▪ Menurunnya tahanan terhadap tarikan	▪ Tarikan rangkak yang berlebih pada geosintetik ▪ Perlemahan tegangan yang berlebih pada geosintetik
Separator/Filter	Lolosnya tanah melalui geosintetik	Ukuran pori geosintetik mungkin tidak sesuai dengan tanah yang ditahannya. Ukuran pori mungkin telah melebar akibat dari tegangan in situ atau kerusakan mekanis
Filter	Penyumbatan pada geosintetik	Permitivitas geosintetik mungkin telah berkurang akibat dari penumpukan partikel tanah pada permukaan atau dalam geosintetik. Ukuran pori mungkin telah mengecil akibat dari pembebanan jangka panjang
Drainase	Menurunnya kapasitas aliran dalam bidang datar	Tekanan rangkak yang berlebih pada geosintetik
Penghalang zat cair	Kebocoran melalui geosintetik	Kemungkinan terdapat pori pada geosintetik akibat dari tusukan atau kegagalan sambungan

Perlu diperhatikan bahwa faktor keamanan kemungkinan akan berkurang seiring dengan waktu jika sifat-sifat geosintetik mengalami penurunan seiring dengan waktu.

Desain yang konservatif disarankan terutama untuk kebanyakan proyek yang kritis. Karena kesalahpahaman yang berhubungan dengan fungsi geosintetik pada bermacam-macam konstruksi dan pada tahapan layanan, perencana mungkin merencanakan persyaratan geosintetik yang tinggi yang sebenarnya mungkin tidak perlu.

Sebenarnya, dalam kebanyakan penerapan teknik sipil, kaidah perencanaan yang sederhana sudah memadai untuk memilih geosintetik secara tepat. Akan tetapi, perencana harus mengetahui situasi dimana pendekatan yang lebih rumit diperlukan, dan dapat menjelasakan kepada pemilik pekerjaan perbedaan dalam pendekatan bergantung pada situasi, misalnya, jenis penggunaan, kondisi pembebanan, dan umur rencana.

3.2.1. Jalan tanpa Perkerasan

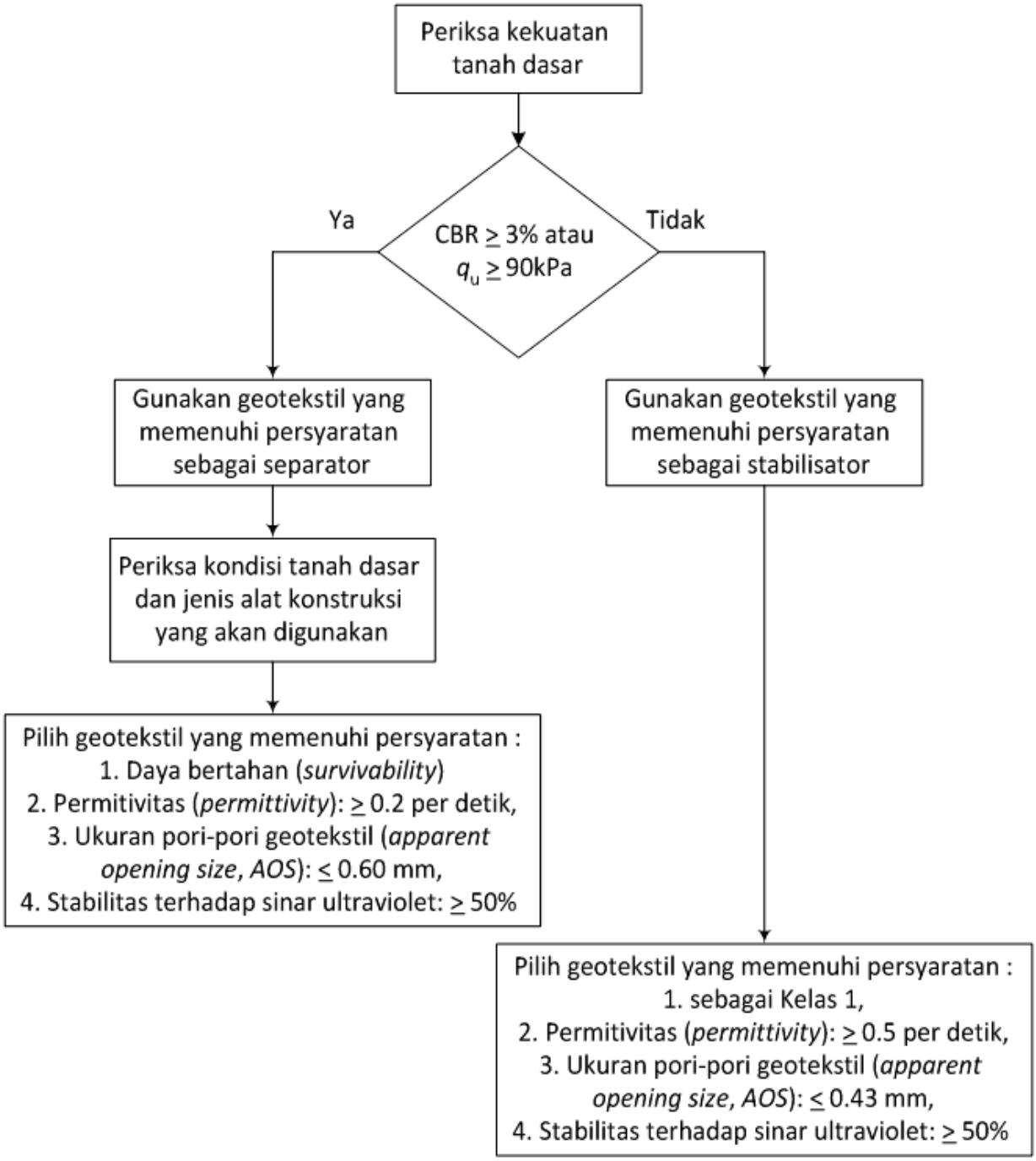
Beberapa metode desain tersedia untuk konstruksi jalan tanpa perkerasan dengan yang diperkuatan dengan geosintetik. Penelitan masih terus dilakukan untuk mengembangkan metode desain baru dan untuk memperbaiki metode desain yang ada. Beberapa pabrik geosintetik telah mengembangkan sendiri grafik desain untuk jalan tanpa perkerasan, khusus jika menggunakan geosintetik produksinya. Metode desain yang berdasarkan sifat-sifat geosintetik tertentu, misalnya modulus geosintetik, umumnya dapat diterima oleh semua pihak. Metode desain ini dinamakan sebagai metode desain berdasarkan fungsi perkuatan.

Ditjend Bina Marga, Kementerian Pekerjaan Umum telah mempunyai spesifikasi geosintetik (geotekstil) yang berfungsi sebagai separator dan stabilisator. Spesifikasi ini dapat digunakan untuk memilih geotekstil

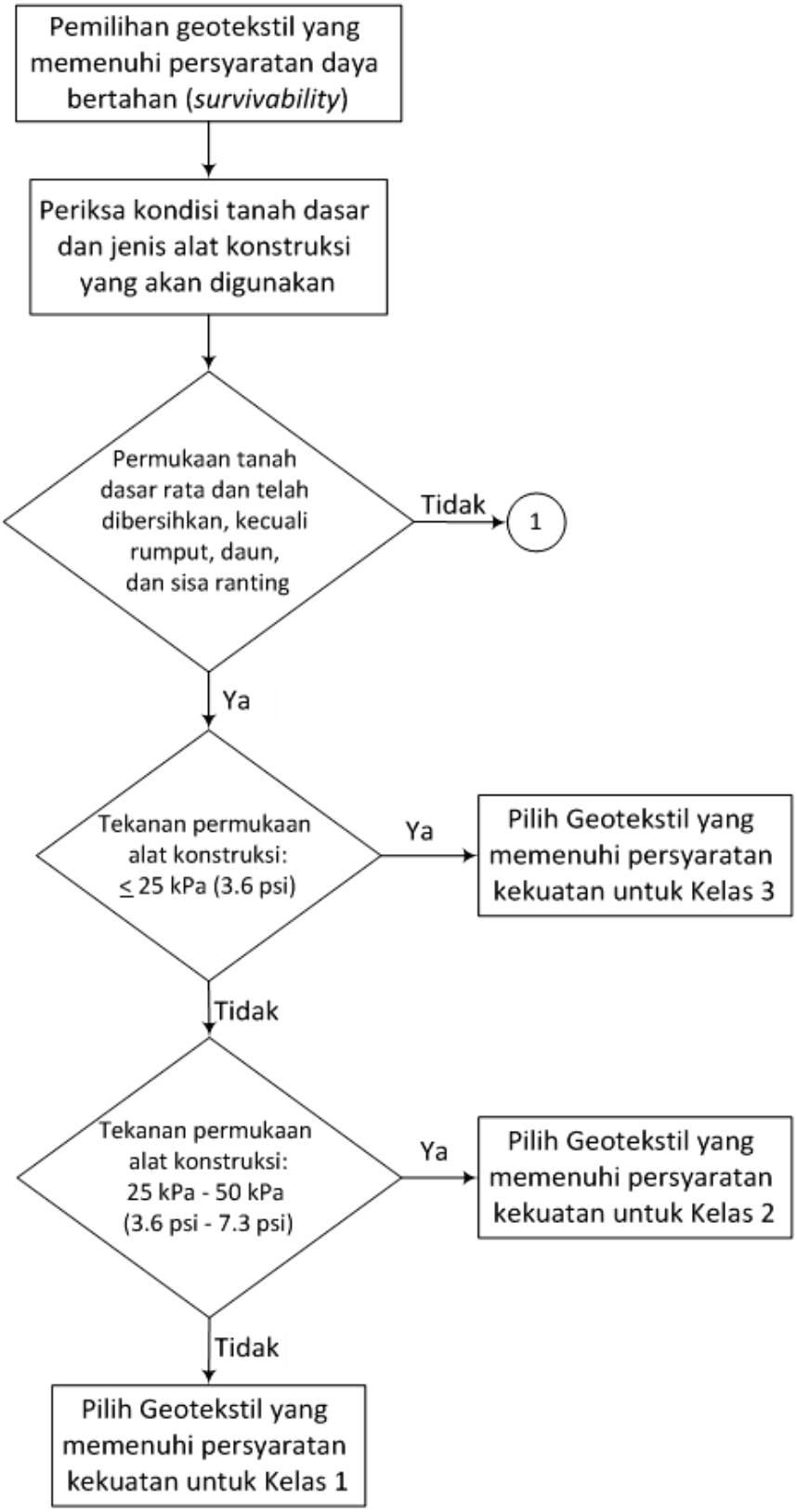
yang akan digunakan sebagai separator dan stabilisator pada konstruksi jalan tanpa perkerasan.

3.2.1.1. Metode desain berdasarkan spesifikasi (Ditjend Bina Marga)

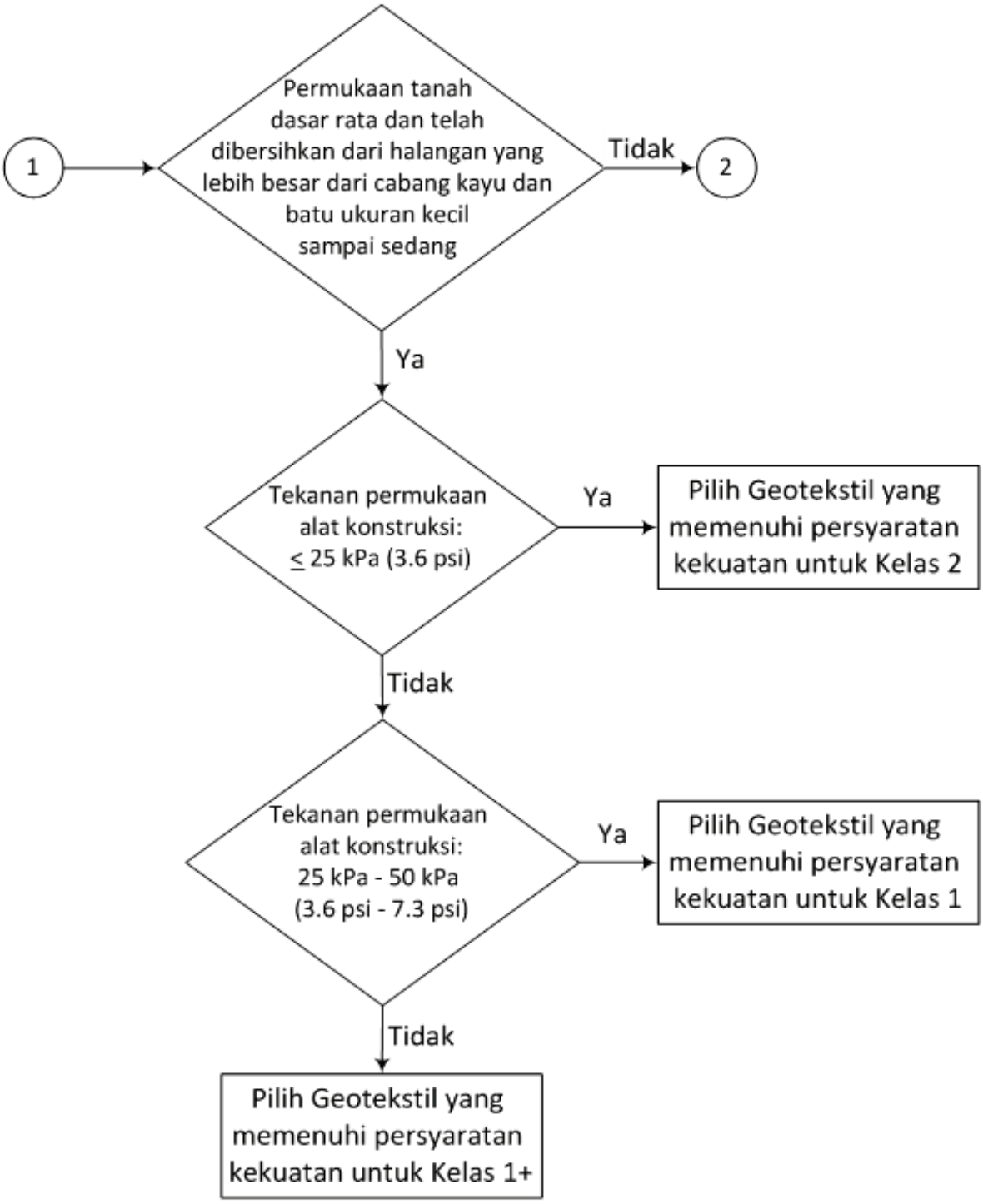
Fungsi geotekstil pada konstruksi jalan, apakah sebagai separator atau stabilisator ditentukan oleh kondisi (kekuatan) tanah dasar yang dinyatakan dengan nilai CBR atau kuat geser. Jika nilai CBR tanah dasar $\geq$ 3% (kuat geser $\geq$ 90 kPa), dipilih geotekstil yang berfungsi sebagai separator. Jika nilai CBR tanah dasarnya 1% - 3% (kuat geser: 30 kPa – 90 kPa), dipilih geotekstil yang berfungsi sebagai stabilisator. Pada Gambar 12 disajikan bagan alir pemilihan geotekstil untuk konstruksi jalan tanpa perkerasan berdasarkan spesifikasi yang ditetapkan oleh Ditjend Bina Marga. Pada Gambar 13 sampai dengan Gambar 15 disajikan langkah-langkah pemilihan geosintetik yang berfungsi sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan (*survivability*) untuk konstruksi jalan tanpa perkerasan.



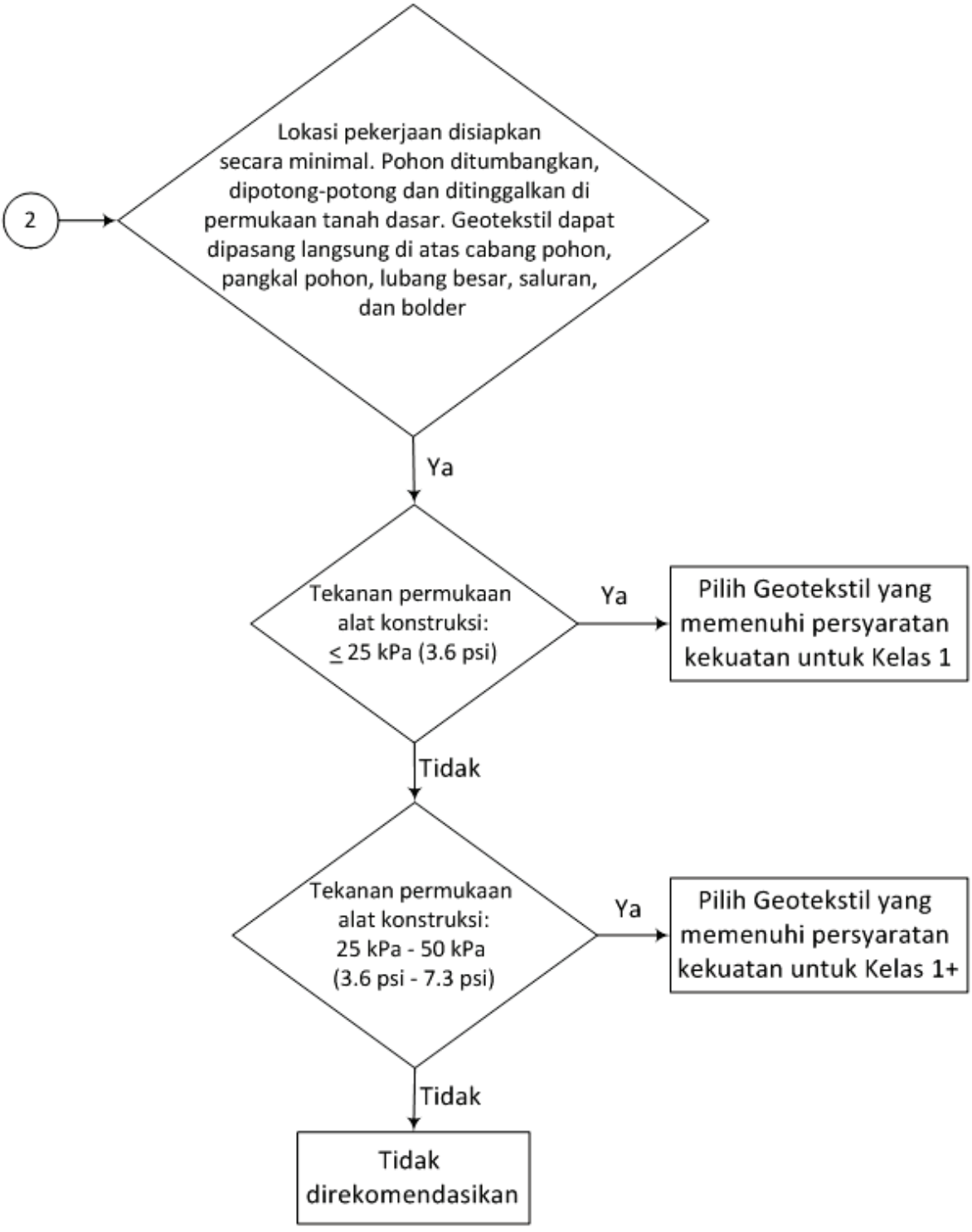
Gambar 12. Bagan alir pemilihan geotekstil untuk konstruksi jalan berdasarkan spesifikasi Ditjend Bina Marga



Gambar 13. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan



Gambar 14. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan (lanjutan)



Gambar 15. Bagan alir pemilihan geosintetik sebagai separator yang memenuhi persyaratan daya bertahan (lanjutan)

Ketentuan pemilihan geotekstil yang memenuhi persyaratan derajat daya bertahan yang diperlihatkan pada Gambar 13 sampai dengan Gambar 15 mengasumsikan bahwa tebal penghamparan awal agregat lapis pondasi adalah antara 150 mm – 300 mm. Untuk Untuk tebal penghamparan awal lainnya:

- 300 - 450 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar satu tingkat
- 450 - 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar dua tingkat
- 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar tiga tingkat

3.2.1.2. Metode desain berdasarkan fungsi perkuatan (RFDM)

Giroud & Noiray (1981) memperkenalkan metode desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil berdasarkan penggabungan *quasi-static analysis* dan rumus empirik. Metode ini mengevaluasi resiko kegagalan tanah pondasi dan kegagalan geotekstil. Geotekstil diasumsikan hanya berfungsi sebagai perkuatan. Kegagalan lapisan berbutir (lapis pondasi agregat) tidak diperhitungkan; sehingga diasumsikan bahwa:

1. koefisien friksi lapis pondasi agregat cukup besar untuk menjamin stabilitas mekanik lapisan
2. sudut geser geotekstil yang bersentuhan dengan lapis pondasi agregat di bawah roda kendaraan cukup besar untuk mencegah bergesernya lapis pondasi agregat di atas geotekstil

Juga diasumsikan bahwa:

1. melendutnya tanah dasar tidak berpengaruh signifikan terhadap ketebalan lapis pondasi agregat.

2. lapis pondasi agregat memberikan distribusi piramidal seiring dengan kedalaman terhadap tekanan kontak ban ekivalen (p_{ec}) yang bekerja pada permukaanya (Gambar 16(a)).

Maka tekanan kontak ban ekivalen dinyatakan sebagai:

$$p_{ec}LB = \left(B + 2h_0 \tan\alpha_0\right)\left(L + 2h_0 \tan\alpha_0\right)\left(p_0 - \gamma h_0\right)$$

untuk tanpa geotekstil, dan

$$p_{ec}LB = \left(B + 2h \tan\alpha\right)\left(L + 2h \tan\alpha\right)\left(p - \gamma h\right)$$

untuk dengan geotekstil

dengan pengertian:

L, B = adalah panjang dimensi ekivalen segi empat bidang kontak ban;

h_0 = ketebalan lapis pondasi agregat tanpa geotekstil

h = ketebalan lapis pondasi agregat dengan geotekstil

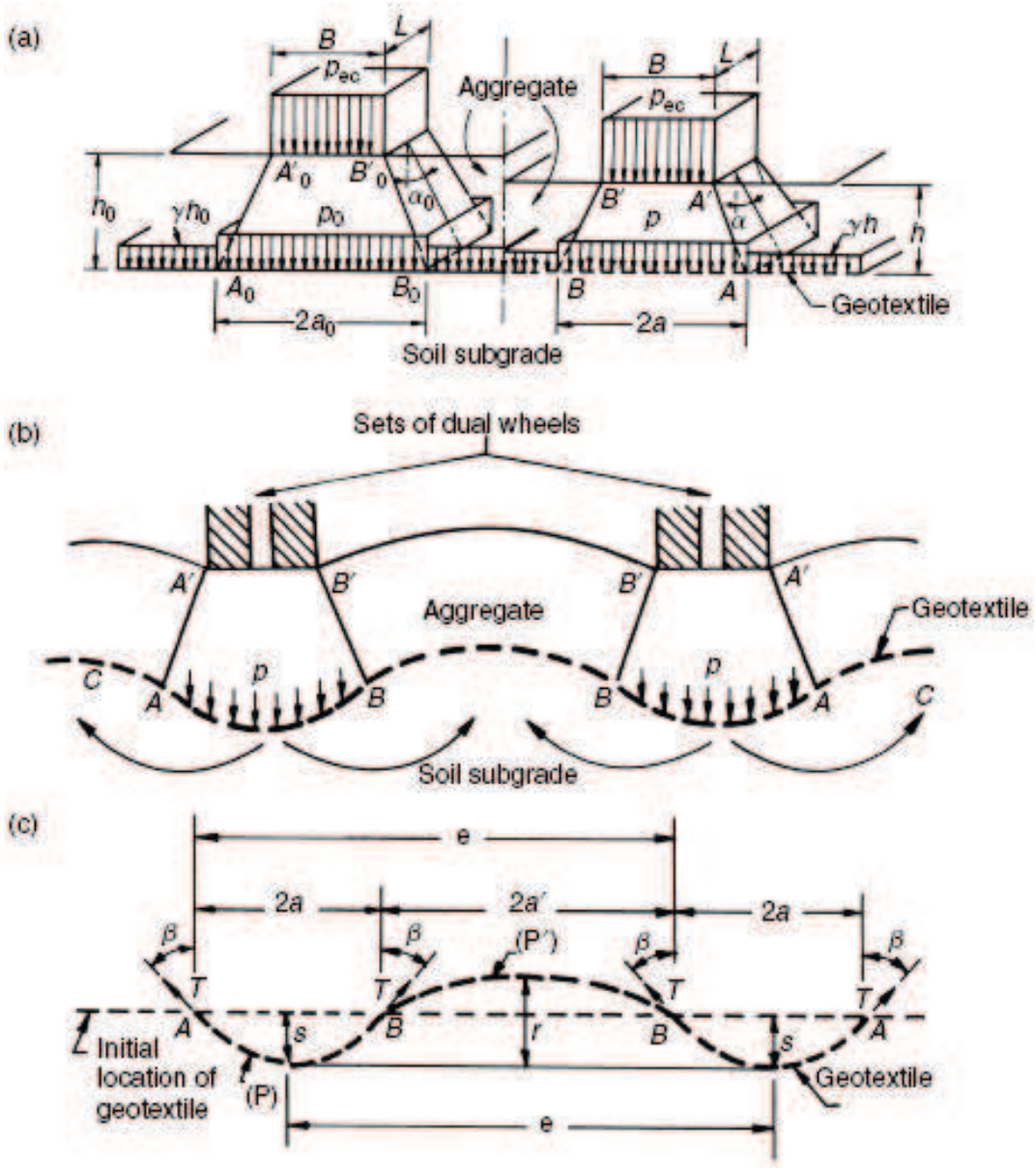
α_0 = sudut distribusi beban tanpa geotekstil;

α = sudut distribusi beban dengan geotekstil;

p_0 = tekanan pada dasar lapis pondasi agregat tanpa geotekstil;

p = tekanan pada dasar lapis pondasi agregat dengan geotekstil;

γ = berat isi material lapis pondasi agregat.



Gambar 16. (a) Model distribusi beban; (b) kinematik deformasi tanah dasar; (c) bentuk deformasi geotekstil (After Giroud & Noiray, 1981)

Tekanan kontak ban ekivalen dihitung dengan persamaan berikut

$$p_{ec} = \frac{P}{LB}$$

dengan pengertian

P = beban sumbu

Dari ketiga persamaan di atas diperoleh tekanan pada dasar lapis pondasi tanpa geotekstil :

$$p_0 = \frac{P}{2\left(B + 2h_0 \tan\alpha_0\right)\left(L + 2h_0 \tan\alpha_0\right)} + \gamma h_0$$

dan tekanan pada dasar lapis pondasi yang diperkuat dengan geotekstil:

$$p = \frac{P}{2\left(B + 2h \tan\alpha\right)\left(L + 2h \tan\alpha\right)} + \gamma h \qquad (1)$$

Nilai sudut distribusi beban α_0 dan α dapat bervariasi, namun diasumsikan sama dengan $\tan^{-1}(0.6)$ dalam metode desain saat ini. Asumsi ini mengindikasikan bahwa adanya lapisan geotekstil tidak mengubah secara signifikan mekanisme perpindahan beban melalui lapisan pondasi agregat.

Pada saat beban roda bekerja, geotekstil memperlihatkan bentuk yang bergelombang (*wavy shape*); karenanya meregang. Hal ini terjadi jika tanah dasar, mempunyai permeabilitas yang rendah, dalam kondisi jenuh, dan berperilaku dalam kondisi tak terdrainase di bawah pembebanan lalu lintas. Sifat inkompresibilitas tanah dasar ini menghasilkan penurunan di bawah roda dan menggembung di antara dan di sebelah luar roda (Gambar 16(b)). Dalam situasi ini, volume tanah dasar bergerak ke bawah oleh penurunan harus sama dengan volume yang bergerak ke atas oleh penggembungan, yang biasa disebut dengan kekekalan volume tanah dasar tak terdrainase. Dalam posisi geotekstil yang meregang, tekanan terhadap bagian permukaan yang cekung lebih tinggi dari tekanan terhadap bagian permukaan yang cembung. Mekanisme perkuatan ini dikenal sebagai efek membran dari geotekstil, yang memberikan dua keuntungan yang berikut:

1. pengekangan tanah dasar di antara dan di luar roda kendaraan;
2. pengurangan tekanan yang bekerja dari beban roda kendaraan pada tanah dasar.

Tekanan yang bekerja pada tanah dasar dari bagian AB geotekstil adalah

$$p^* = p - p_g$$

dengan pengertian

p_g = pengurangan tekanan yang dihasilkan dari penggunaan geotekstil

pengurangan tekanan (p_g) adalah fungsi dari tegangan tarik yang termobilisasi, yang bergantung pada elongasi; sehingga bentuk lendutannya berperan signifikan.

Karena pengekangan tanah dasar yang diberikan oleh geotekstil membantu mempertahankan lendutan yang kecil untuk seluruh tekanan yang bekerja yang lebih kecil dari kapasitas daya dukung beban ultimit, q_u, tanah dasar sebagaimana disajikan pada persamaan berikut ini, tekanan p^* dapat sama besarnya dengan q_u

$$q_u = (\pi + 2)c_u + \gamma h$$

dengan pengertian

c_u = kohesi tak terdrainase atau kuat geser tanah dasar

sehingga diperoleh

$$p - p_g = (\pi + 2)c_u + \gamma h \qquad (2)$$

Pada kasus tanpa geotekstil, persamaan yang mirip dengan persamaan di atas dapat diperoleh dengan menyamakan p_0 dengan kapasitas daya dukung elastik tanah dasar yang diberikan sebagai berikut

$$q_e = \pi c_u + \gamma h$$

untuk mencegah lendutan yang besar di bawah ban kendaraan. Sehingga

$$p_0 = \pi c_u + \gamma h$$

untuk kasus tanpa pemasangan geotekstil.

Selanjutnya, untuk kasus tanpa pemasangan geotekstil, dapat disusun persamaan yang berikut:

$$c_u = \frac{P}{2\pi\left(B + 2h_0 \tan\alpha_0\right)\left(L + 2h_0 \tan\alpha_0\right)} \qquad (3)$$

Bentuk deformasi geotekstil diasumsikan terdiri dari bagian parabola yang tersambung di titik A dan B yang berada pada bidang awal geotekstil (Gambar 16(c)). Pengurangan tekanan(p_g) akibat dari tegangan tarik geotekstil dalam bagian parabola (P). Sebenarnya, p_g merupakan tekanan seragam yang bekerja pada AB dan sama dengan proyeksi vertikal tegangan tarik (T) geotekstil di titik A dan B:

$$a\,p_g = T\cos\beta$$

sesuai dengan sifat parabola

$$\tan\beta = \frac{a}{2s}$$

Dari definisi secant modulus (E), yang dinyatakan dengan N/m, diperoleh

$$T = E\varepsilon$$

dengan pengertian:

ε = persen elongasi.

Dengan menggabungkan ketiga persamaan di atas, diperoleh

$$p_g = \frac{E\varepsilon}{a\sqrt{1+\left(\frac{a}{2s}\right)^2}} \qquad (4)$$

menggabungkan persamaan (1, (2), dan (3) diperoleh

$$(\pi+2)c_u = \frac{P}{2(B+2h\tan\alpha)(L+2h\tan\alpha)} + \frac{E\varepsilon}{a\sqrt{1+\left(\frac{a}{2s}\right)^2}} \qquad (5)$$

yang berlaku untuk kasus dengan geotekstil.

Pada persamaan (4) dan (5), L dan B dapat dinyatakan dengan:

$$L = \frac{B}{\sqrt{2}} \text{ dan } B = \sqrt{\frac{P}{p_c}}$$

untuk truk di jalan raya.

$$L = \frac{B}{2} \text{ dan } B = \sqrt{\frac{P\sqrt{2}}{p_c}}$$

untuk truk tidak di jalan raya

dengan pengertian:

p_c = tekanan ban kendaraan

dengan menyelesaikan persamaan (4) untuk mendapatkan nilai h_0 dan persamaan (5) untuk mendapatkan nilai h memungkinkan kita menentukan pengurangan ketebalan lapis pondasi agregat (Δh) akibat dari fungsi perkuatan geotekstil berdasarkan *quasi-static analyses*. Sehingga

$$\Delta h = h_0 - h$$

Asumsi selanjutnya adalah bahwa nilai Δh tetap tidak berubah dalam pembebanan lalu lintas yang berulang, sehingga melepaskan pengaruh perkuatan dan analisisnya dari sifat siklik dari pembebanan. Oleh karena itu,

$$h' = h'_0 - \Delta h$$

dengan pengertian:

h' = ketebalan lapis pondasi agregat jalan tanpa perkerasan dengan pemasangan geotekstil dan di bawah pembebanan lalu lintas

h'_0 = ketebalan lapis pondasi agregat jalan tanpa perkerasan tanpa pemasangan geotekstil dan di bawah pembebanan lalu lintas.

Dalam pembebanan lalu lintas, ketebalan lapis pondasi agregat yang diperlukan h'_0 untuk jalan tanpa perkerasan tanpa pemasangan geotekstil ditentukan dengan menggunakan metode empirik yang dikembangkan oleh Webster & Alford (1978) untuk kedalaman alur *r* =

0.075 m dan disederhanakan oleh Giroud and Noiray (1981) dalam persamaan:

$$h' = \frac{0.19 \log_{10} N_s}{(\text{CBR})^{0.63}}$$

dengan pengertian:

N_s = jumlah lintasan beban standar dengan beban P_s = 80 kN
CBR = California Bearing Ratio tanah dasar

Giroud & Noiray (1981) menambah persamaan di atas dengan nilai beban sumbu dan kedalaman alur dengan hubungan yang berikut:

$$\frac{N_s}{N_p} = \left(\frac{P}{P_s}\right)^{3.95}$$

$$\log_{10} N_s \rightarrow \left[\log_{10} N_s - 2.34(r - 0.075)\right]$$

dengan $\rightarrow$ menyatakan "diganti dengan"

Mereka juga memperkenalkan kohesi tak terdrainase tanah dasar dengan korelasi empirik berikut:

$$c_u (\text{kN/m}^2) = 30.000 \times \text{CBR}$$

Dengan menggabungkan persamaan-persamaan di atas, diperoleh

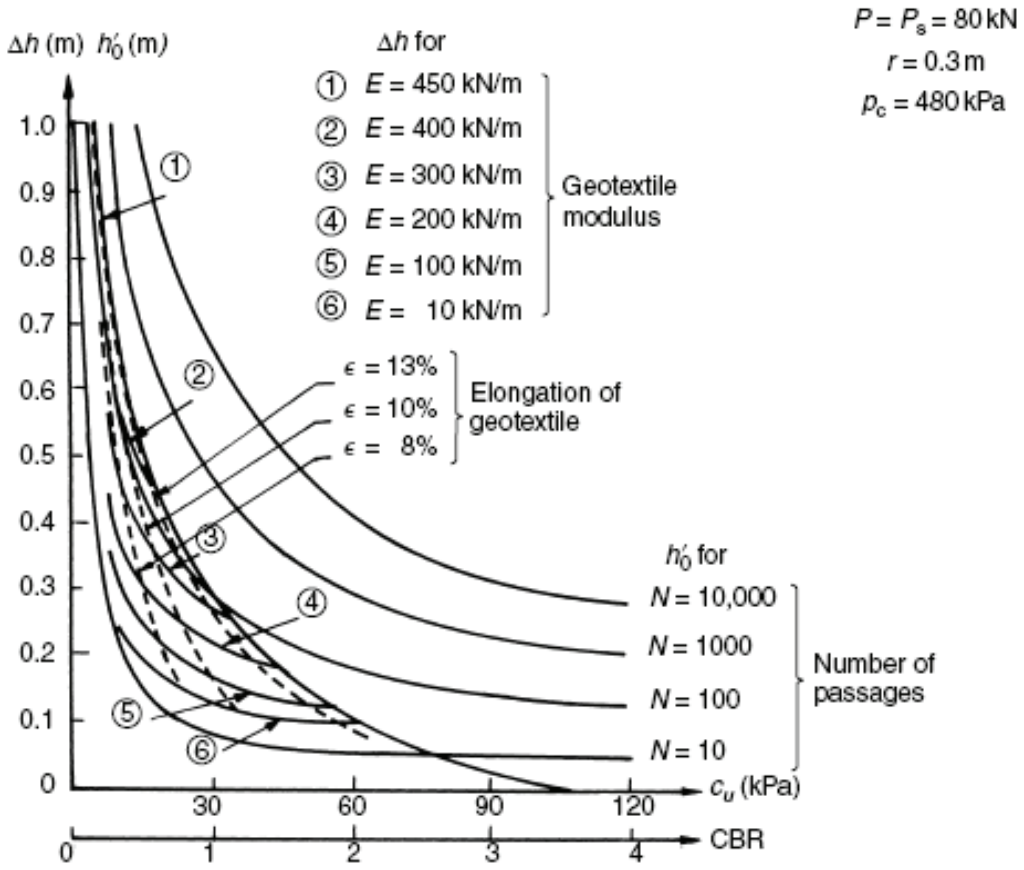
$$h'_0 = \frac{119.24 \log_{10} N + 470.98 \log_{10} P - 279.01 r - 2283.34}{(c_u)^{0.63}}$$

Rumusan ini berdasarkan ekstrapolasi dan oleh karena itu, tidak boleh digunakan jika jumlah lintasan beban sumbu lebih dari 10.000.

Sebuah grafik desain berdasarkan analisis yang diuraikan di atas disajikan pada Gambar 17. Dua fitur berikut dari grafik ini adalah patut diperhatikan:

1. Δh tidak mungkin lebih tinggi dari h_0
2. lapis pondasi agregat tidak diperlukan di atas geotekstil jika kurva Δh terhadap c_u berada di atas kurva h'_0 terhadap c_u

Grafik desain memberikan nilai Δh dan h'_0. Dengan mengurangkan Δh terhadap h'_0 menghasilkan nilai tebal lapis pondasi agregat, h'. Kumpulan kurva, yang memberikan elongasi geotekstil, ε, terhadap kohesi tanah dasar, c_u, dalam grafik desain memungkinkan pengguna grafik desain memeriksa, dalam kasus yang sedang dikaji, geotekstil tidak mengalami elongasi berlebih.



Gambar 17. Grafik desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil (after Giroud & Noiray, 1981)

Contoh perhitungan:

Diketahui:

Jumlah lintasan kendaraan, N = 340
Beban sumbu tunggal, $P = P_s$ = 80 kN
Tekanan ban kendaraan, p_c = 480 kPa
CBR tanah dasar = 1.0
Modulus geotekstil, E = 90 kN/m
Kedalaman alur izin, r = 0.3 m

Berapa tebal lapis pondasi agregat yang diperlukan untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil?

PENYELESAIAN:

Dari grafik desain pada Gambar 17, diperoleh

h'_0 = 0.35 untuk CBR = 1.0 dan N = 340

Δh = 0.15 untuk CBR = 1.0 dan E = 90 kN/m

Ketebalan lapis pondasi agregat yang diperlukan untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$h' = h'_0 - \Delta h$$

$$= 0.35 - 0.15$$

$$= 0.20 \text{ m}$$

3.2.1.3. Metode desain berdasarkan fungsi separator (SFDM)

Steward et al. (1977) memperkenalkan suatu metode desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geosintetik. Metode ini mempertimbangkan fungsi utama geosintetik sebagai separator dimana dimana kedalaman alur yang kurang dari 75 mm. Fungsi separator ini lebih penting untuk bagian jalan yang tipis dengan jumlah beban lalu lintas yang rendah. Metode desain ini berdasarkan pada analisis teoritis dan uji (laboratorium dan skala penuh di lapangan) empirik dan memungkinkan perencana memperhitungkan jumlah lintasan kendaraan, beban sumbu kendaraan ekivalen, konfigurasi sumbu kendaraan , tekanan ban kendaraan, kekuatan tanah dasar, dan kedalaman alur. Batasan-batasan untuk metode desain ini adalah sebagai berikut:

1. lapis pondasi agregat harus non kohesif (non-plastis) dan dipadatkan hingga nilai CBR-nya mencapai 80%.

2. jumlah lintasan kendaraan kurang dari 10.000.
3. kriteria daya bertahan geotekstil harus diperhitungkan.
4. kuat geser tak terdrainase tanah dasar < 90 kPa (CBR < 3).

Steward et al. (1977) memperkenalkan grafik desain menentukan ketebalan lapis pondasi agregat yang diperlukan (Gambar 18). Konsep utama yang mendasari pengembangan grafik desain ini adalah memperkenalkan derajat tegangan yang bekerja pada tanah dasar dalam kaitannya dengan faktor kapasitas daya dukung, serupa dengan yang umum digunakan untuk desain pondasi dangkal (pondasi menerus, *continuous footings*) di atas tanah kohesif. Kapasitas daya dukung ultimit (q_u) dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini;

$$q_u = c_u N_c + \gamma D$$

dengan pengertian:

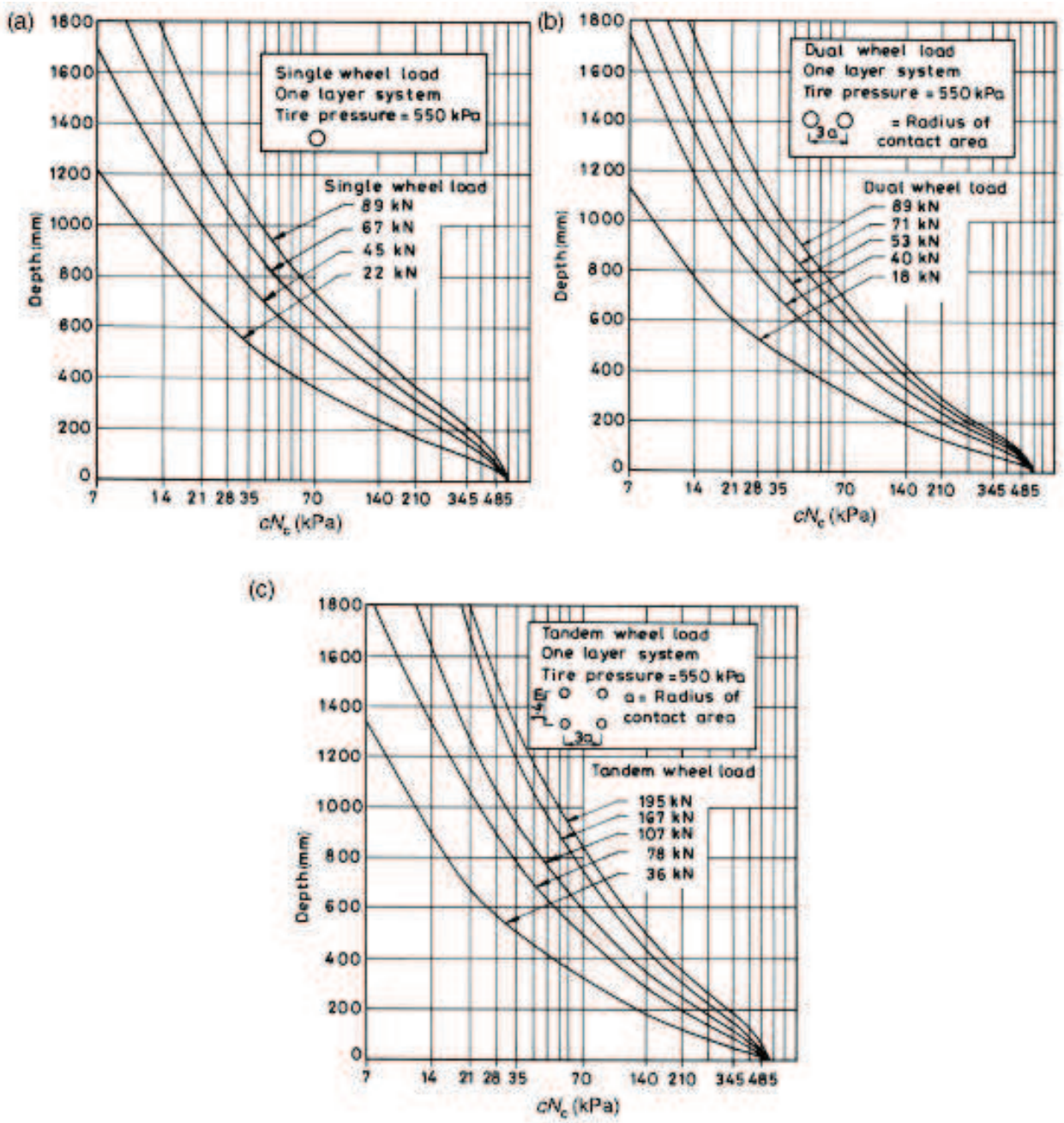
c_u = kohesi tak terdrainase tanah dasar

N_c = faktor kapasitas daya dukung

γ = berat isi agregat lapis pondasi yang berada di atas lapis geosintetik

D = ketebalan lapis pondasi agregat

Faktor kapasitas daya dukung disesuaikan ketika suatu geosintetik, khususnya geotekstil, ditempatkan di antara tanah dasar dan lapis pondasi agregat, dengan nilai sebagaimana disajikan pada Tabel 3.



Gambar 18. Grafik desain untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dengan geotekstil untuk (a) beban roda tunggal; (b) beban roda ganda; (c) beban roda tandem (after Steward et al., 1977)

Tabel 3. Faktor kapasitas daya dukung untuk desain jalan dengan dan tanpa separator (after Steward et al., 1977)

Kondisi di lapangan	Alur (mm)	Lalu lintas (lintasan sumbu ekivalen 80 kN)	Faktor kapasitas daya dukung (N_c)
Tanpa geotekstil	< 50	> 1000	28
	> 100	< 100	3.3
Dengan geotekstil	< 50	> 1000	5.0
	> 100	< 100	6.0

Contoh perhitungan:

Diketahui:

Jumlah lintasan kendaraan, N = 6000
Beban sumbu tunggal, P = 90 kN
Tekanan ban kendaraan, p_c = 550 kPa
CBR tanah dasar = 1.0
Modulus geotekstil, E = 90 kN/m
Kedalaman alur izin, r = 0.4 m

Berapa tebal lapis pondasi agregat yang diperlukan untuk jalan tanpa perkerasan yang diperkuat dan tidak diperkuat dengan geotekstil?

PENYELESAIAN:

Beban roda tunggal =(90 kN)/2 = 45 kN

Dari Tabel 3, untuk jumlah lintasan kendaraan sebanyak 6000 dan kedalaman alur = 40 mm, diperoleh

N_c = 2.8 untuk jalan yang tidak diperkuat dengan geotekstil

N_c = 3.0 untuk jalan yang diperkuat dengan geotekstil

Dengan menggunakan persamaan:

$c_u(\text{kN/m}^2) = 30.000 \times \text{CBR}$, untuk nilai CBR = 1.0, diperoleh

$c_u = c = 30$ kPa

Untuk jalan yang tidak diperkuat dengan geotekstil:

$c_u N_c = 30 \times 2.8 = 84$ kPa

Untuk jalan yang diperkuat dengan geotekstil:

$c_u N_c = 30 \times 5.0 = 150$ kPa

Dari grafik desain pada Gambar 18(a), diperoleh:

Untuk jalan yang tidak diperkuat dengan geotekstil:

Tebal lapis pondasi agregat, $h_o \approx 500$ mm

Untuk jalan yang diperkuat dengan geotekstil:

Tebal lapis pondasi agregat, $h_o \approx 350$ mm

3.2.2. Jalan dengan Perkerasan

3.2.2.1. Lapis geosintetik pada permukaan tanah dasar

Alur dengan kedalaman yang lebih besar dari 25 mm umumnya tidak dapat diterima pada perkerasan. Jika lapis geosintetik digunakan hanya untuk keperluan penambahan ketinggian lapisan pondasi pada saat konstruksi, maka ketebalan lapis pondasi bawah atau lapis pondasi yang diperlukan agar mampu menahan beban lalu lintas rencana selama umur rencana perkerasan jalan tidak dikurangi. Perkerasan dengan lapis geosintetik biasanya didesain untuk meningkatkan daya dukung struktural dengan menggunakan metode desain perkerasan yang ada.

Jika tanah dasar rentan mengalami pemompaan dan lapis pondasi agregat rentan dimasuki butiran halus dari tanah dasar maka diperlukan penambahan ketebalan lapis pondasi agregat yang melebihi kapasitas struktur yang diperlukan. Dengan adanya lapis geosintetik, terutama geostekstil tanpa-anyaman, pada antar muka lapis pondasi bawah/lapis pondasi agregat dan tanah dasar, tambahan ketebalan lapis pondasi agregat yang diperlukan dapat dikurangi kira-kira 50% (Holtz et al., 1997). Penghematan agregat dapat juga dilakukan dengan memasang lapis geosintetik yang berfungsi sebagai stabilisator sehingga dapat mentoleransi kedalaman alur sampai dengan 75 mm akibat kendaraan lapangan dan peralatan konstruksi.

Sebagai langkah desain akhir, geosintetik yang direkomendasikan harus diperiksa untuk memenuhi persyaratan hidrolik minimum dan persyaratan daya bertahan minimum sebagaimana diuraikan pada Bagian 5.2.

3.2.2.2. Lapis geosintetik pada permukaan lapis pondasi agregat yang diberi lapis tambah

Fungsi geosintetik sebagai penghalang zat cair harus dicapai dalam penerapannya di lapangan. Hal ini berdasarkan pertimbangan bahwa air (datang dari hujan, drainase permukaan atau irigasi di sekitar perkerasan) jika dibiarkan merembes ke dalam lapis pondasi dan tanah dasar dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan melalui satu atau lebih proses yang berikut:

1. memperlemah tanah dasar
2. memobilisasi tanah dasar ke dalam lapis pondasi agregat, terutama jika geosintetik yang berfungsi sebagai separator/filter tidak digunakan pada antar muka lapis pondasi dan tanah dasar.

3. meruntuhkan struktur pondasi secara hidrolik, termasuk pengelupasan lapis pondasi yang beraspal dan meruntuhkan lapis pondasi yang distabilisasi secara kimia.
4. siklus pembasahan dan pengeringan.

Pemilihan kelas geosintetik untuk perkuatan perkerasan harus memenuhi persyaratan fisik sebaimana diuraikan pada Bagian 5.2. Sebelum meletakan *paving fabric*, lapis perekat harus sudah disemprotkan secara merata di atas permukaan perkerasan kering yang sudah disiapkan dengan jumlah lapis perekat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (IRC: SP: 59-2002):

$$Q_d = 0.36 + Q_s + Q_c$$

dengan pengertian:

Q_d = jumlah lapis perekat rencana (kg/m^2)

Q_s = kadar kejenuhan geostekstil digunakan (kg/m^2), diberikan oleh pabrik pembuatnya

Q_c = koreksi berdasarkan keperluan lapis perekat pada permukaan perkerasan lama (kg/m^2).

Jumlah lapis perekat sangat menentukan kinerja sistem membran. Terlalu banyak lapis perekat akan meninggalkan kelebihan di antara *paving fabric* dan lapis tambah yang baru yang mengakibatkan adanya potensi bidang keruntuhan geser dan potensi masalah *bleeding*, sedangkan terlalu sedikit lapis perekat akan gagal menyempurnakan ikatan dan gagal menciptakan membran yang impermeabel. Sebenarnya, kesalahan penerapan lapis perekat dapat membuat perbedaan antara pemasangan *paving fabric* yang berhasil dan yang

gagal. Lapis perekat membentuk lapisan yang permeabilitasnya rendah dan mengikatkan *paving fabric* dengan perkerasan lama dan lapis tambah.

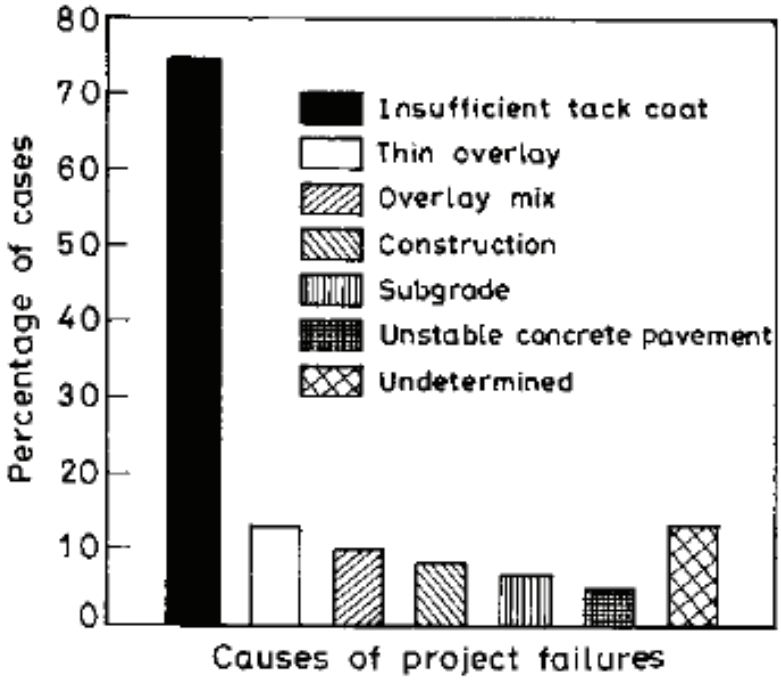
Jumlah aktual lapis perekat akan bergantung pada porositas perkerasan lama dan jumlah *bitumen sealant* yang diperlukan untuk menjenuhkan *paving fabric* yang digunakan. Jumlah *bitumen sealant* yang diperlukan oleh perkerasan lama memerlukan pertimbangan yang mendalam. Kadar kejenuhan *paving fabric* sangat bergantung pada ketebalan dan porositasnya, yaitu masa per satuan luasnya. Semakin besar massa per satuan luas geotekstil, semakin banyak lapis perekat yang diperlukan untuk menjenuhkan *fabric* tersebut. Untuk *paving fabric* yang mempunyai massa per satuan luas dalam rentang 120 – 135 g/m^2, sebagian besar pabrik merekomendasikan penyerapan bahan pengikat aspal oleh *paving fabric* sekitar 900/m^2, atau jumlah lapis perekat sekitar 1125 g/m^2. Untuk keuntungan dari aspek kedap air dan stress-relieving, *paving fabric* harus menyerap sekurang-kurangnya 725 g/m^2 bahan pengikat aspal. Bahan pengikat sisanya akan membantu pengikatan sistem *paving fabric* dengan perkerasan lama dan lapis tambah. Lapis perekat tambahan mungkin diperlukan di antara bagian yang tumpang tindih untuk memenuhi persaratan penjenuhan *fabric* tersebut.

Suatu tinjauan terhadap proyek dengan kinerja sistem *paving fabric* yang tidak memuaskan memperlihatkan pentingnya lapis perekat terhadap keseluruhan sistem. Berdasarkan kajian terhadap 65 proyek yang diselesaikan selama 16 tahun, jelas sekali bahwa penerapan lapis perekat yang terlalu sedikit (kurang dari 725 g/m2) mempunyai kasus yang gagal dengan persentasi yang sangat tinggi. Hal ini diperlihatkan secara grafik pada Gambar 19. Dalam uji di laboratorium, diamati bahwa keuntungan kedap air dari *paving fabric* dapat diabaikan sampai dengan *fabric* menyerap sekurang-kurangnya 725 g/m2 lapis perekat (Gambar 20). Lapis perekat yang tidak mencukupi dapat mengakibatkan alur, jembul, atau, kadang-kadang, pelepasan keseluruhan lapisan tebal lapis tambah. Permasalahan struktural, seperti penggeseran dan

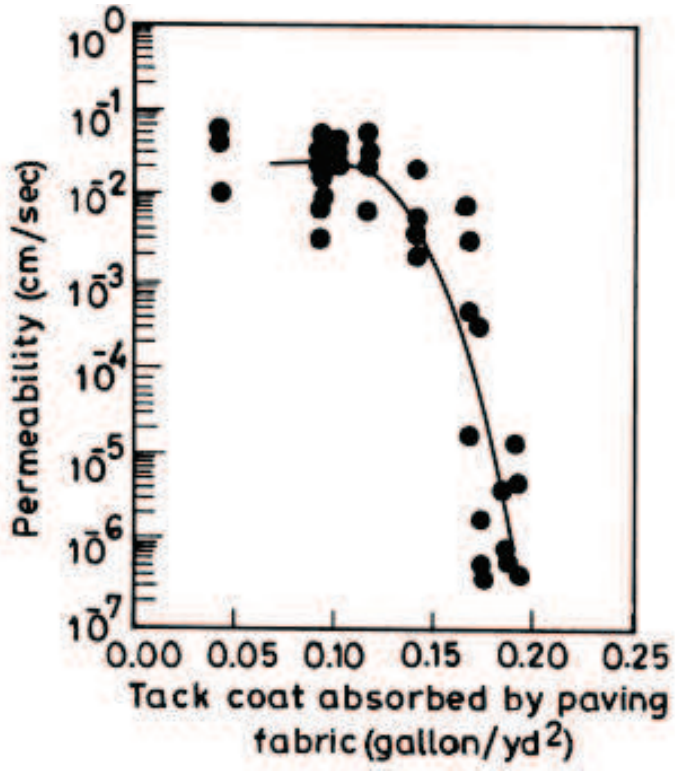
pelepasan lapisan pada lapis tambah, terjadi jika jumlah lapis perekat yang diserap oleh *paving fabric* kurang dari 450 g/m^2.

Terdapat beberapa kondisi yang dapat mengakibatkan rendahnya jumlah lapis perekat di dalam *paving fabric*. Kurangnya pemadatan atau, rendahnya suhu lapis tambah dapat menciptakan kondisi dimana lapis perekat tidak dapat diserap oleh paving fabric. Tebal lapis tambah yang kurang dari 40 mm jarang direkomendasikan menggunakan *paving fabric*, sebagian, karena lapis tambah tersebut cepat mengalami kehilangan panas.

Kajian yang dilakukan oleh (Marienfeld & Smiley, 1994) memperlihatkan bahwa tebal lapis tambah yang direncanakan untuk menghambat retak refleksi dapat dikurangi hingga 30 mm untuk kinerja yang sama, dengan penambahan keuntungan kedap air jika antar muka *paving fabric* disertakan dalam sistem.



Gambar 19. Penyebab kegagalan penggunaan geosintetik pada konstruksi jalan di Amerika Serikat (after Baker, 1998)



Gambar 20. Hasil uji sensitivitas permeabilitas terhadap jumlah lapis perekat pada *paving fabric* (after Marienfield & Baker, 1998)

3.3. Soal Latihan

Pilihlah jawaban yang paling tepat untuk pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

1. Desain struktur yang melibatkan penggunaan geosintetik dimaksudkan untuk menjamin……. struktur tersebut
   (a) Kekuatan.
   (b) Kestabilan.
   (c) Layanan.
   (d) Semua jawaban benar.
2. Pendekatan desain berikut ini, manakah yang paling seuai untuk geosintetik?

(a) Desain berdasarkan pengalaman.

(b) Desain berdasarkan harga geosintetik dan alokasi dana.

(c) Desain berdasarkan spesifikasi.

(d) Desain berdasarkan fungsi.

3. Dari pernyataan berikut ini, asumsi manakah yang tidak benar untuk metode desain berdasarkan perkuatan (RFDM) pada jalan tanpa perkerasan yang direkomendasikan oleh Giroud & Noiray (1981)?

   (a) Koefisien friksi lapis pondasi agregat cukup besar untuk menjamin stabilitas mekanik lapisan.

   (b) Sudut geser geotekstil yang bersentuhan dengan lapis pondasi agregat di bawah roda kendaraan cukup besar untuk mencegah bergesernya lapis pondasi agregat di atas geotekstil.

   (c) melendutnya tanah dasar sangat mempengaruhi ketebalan lapis pondasi agregat.

   (d) lapis pondasi agregat memberikan distribusi piramidal seiring dengan kedalaman terhadap tekanan kontak ban ekivalen yang bekerja pada permukaanya.

4. Pada jalan tanpa perkerasan, pada saat geotekstil mengalami deformasi akibat beban roda kendaraan dan membentuk bagian yang cekung di bawah roda dan bagian cembung di antara dan di sebelah luar roda, tekanan pada bagian yang cekung adalah

   (a) Sama dengan tekanan pada bagian yang sembung.

   (b) Lebih kecil daripada tekanan pada bagian yang cembung.

   (c) Lebih besar daripada tekanan pada bagian yang cembung.

   (d) Sama atau lebih besar daripada tekanan pada bagian yang cembung.

5. Ketebalan minimum lapis tambah campuran beraspal yang direkomendasikan pada penggunaan *paving fabric* adalah

(a) 20 mm.
(b) 40 mm.
(c) 75 mm.
(d) Semua jawaban di atas salah.

4 Panduan Pemasangan Geosintetik

4.1. Pengantar

Pada seluruh bidang penerapan geosintetik, tujuan yang umum adalah memasang geosintetik yang benar di lokasi yang benar dengan tidak mengakibatkan gangguan terhadap sifat-sifatnya selama proses konstruksi. Beberapa panduan umum dan khusus telah disarankan untuk memenuhi tujuan umum ini. Pada dasarnya, tujuan dari panduan pelaksanaan adalah untuk membantu penggunan dalam melatih pertimbangan profesionalnya dan berpengalaman dalam mengembangkan rekomendasi sesuai dengan kondisi spesifik di lapangan dan mempromosikan penggunaan praktek terbaik dalam pelaksanaan konstruksi teknik sipil menggunakan geosintetik.

Pada pedoman ini, beberapa panduan umum dan khusus pelaksanaan geosintetik dibahas dan dapat diikuti pada saat bekerja dengan geosintetik selama tahapan konstruksi atau pemeliharaan. Harus diperhatikan bahwa tidak ada dua proyek yang identik; kondisi di lapangan mungkin menentukan persyaratan, teknik, dan panduan yang berbeda. Oleh karena itu, panduan yang diuraikan pada bagian ini, mungkin tidak dapat diterapkan secara menyeluruh bagi seluruh geosintetik dalam seluruh kondisi lapangan. Panduan khusus di proyek akan selalu menggantikan panduan umum.

4.2. Panduan Umum

4.2.1. Kehati-hatian dan Pertimbangan

Pada beberapa proyek, faktor lingkungan selama penyimpanan di lokasi pekerjaan dan tegangan mekanis selama konstruksi dan pengoperasian awal sangat mempengaruhi kinerja geosintetik selama umur rencana yang diharapkan. Oleh karena itu, keberhasilan pemasangan geosintetik sangat bergantung pada teknik konstruksi dan pengelolaan kegiatan-kegiatan konstruksi. Sehingga, praktek pemasangan geosintetik memerlukan tingkat kehati-hatian dan pertimbangan tertentu.

Di masa lalu, kebanyakan kegagalan geosintetik dilaporkan berhubungan dengan pelaksanaan konstruksi dan sebagian lagi berhubungan dengan perencanaan. Kegagalan yang berhubungan dengan konstruksi terutama disebabkan oleh masalah-masalah berikut ini:

1. Kehilangan kekuatan karena terpapar terhadap sinar ultra violet
2. Kurangnya tumpang tindih yang memadai
3. Tegangan pemasangan yang tinggi

Walaupun sifat umum kerusakan geosintetik yang disebabkan oleh pemasangan, contohnya terpotong, sobek, terbelah, dan berlubang dapat, dapat diperkirakan pada saat uji coba di lapangan; belum ada metode uji yang menghasilkan sifat dan tingkat kerusakan yang sama dengan yang dihasilkan di laboratorium. Akan tetapi, pengurangan kekuatan akibat dari kerusakan selama pemasangan dapat sebagian atau seluruhnya dihindari dengan mempertimbangkan secara seksama elemen-elemen berikut ini:

1. Tanah dasar yang teguh atau berbatu

2. Ketebalan lapisan penghamparan yang tipis dikerjakan dengan menggunakan peralatan berat,
3. Ukuran butiran yang besar, tanah penutup yang bergradasi buruk
4. Geosintetik mempunyai berat yang ringan dan kekuatan yang rendah

Elemen-elemen ini merupakan penyebab kerusakan yang paling parah.

Jika kasus tanah dasar tidak dapat diganti, pilihan yang tersisa adalah mengubah pelaksanaan konstruksi atau memodifikasi geosintetik yang sedang digunakan untuk fungsi penggunaan yang lain. Akan tetapi, seseorang dapat mencoba keduanya dengan merekomendasikan pelaksanaan konstruksi yang tidak terlalu berat dan mengadopsi suatu kriteria kekuatan geosintetk, misalnya mengurangi nilai kekuatan dan regangan yang diperhitungkan pada saat mengevaluasi kapasitas tarik desain geosintetik.

Pada saat geosintentik diterapkan, aspek berikut ini juga diperhitungkan:

1. temperatur selama pemasangan dan umur layan,
2. kemungkinan pencucian bahan penstabil ultra violet yang diakibatkan dari pencemaran tanah,
3. kemungkinan material di sekitar geosintetik dapat berperan sebagai katalisator proses degradasi.

Perawatan seharusnya dilakukan selama penghamparan dan pemadatan material timbunan di atas lapis geosintetik, terutama pada tanah dasar yang sangat lunak dan/atau material timbunan yang sangat kasar (batu, urugan batuan, dll.), untuk menghindarkan atau meminimalkan kerusakan mekanis terhadap geosintetik.

Hubungan antara geosintetik dan lingkungan tempat geosintetik tersebut digunakan harus dipertimbangkan secara seksama.

4.2.2. Pemilihan Geosintetik

Spesifikasi geosintetik yang baik mempunyai peran penting bagi keberhasilan suatu proyek. Karena penggunaan yang sangat bervariasi dan geosintetik yang tersedia juga sangat bervariasi, pemilihan untuk geosintetik yang khusus dengan sifat-sifat tertentu merupakan keputusan yang kritis. Pemilihan geosintetik pada umumnya dilakukan dengan mempertimbangkan tujuan umum penggunaannya. Sebagai contoh. Jika geosintetik yang dipilih digunakan dengan fungsi sebagai perkuatan, maka geosintetik tersebut akan harus meningkatkan kestabilan tanah (kapasitas daya dukung, kestabilan lereng, dan tahanan terhadap erosi) dan harus mengurangi deformasinya (penurunan dan deformasi lateral). Agar memberikan kestabilan, geosintetik harus mempunyai kekuatan yang mencukupi; dan agar mengendalikan deformasi, geosintetik harus mempunyai sifat-sifat gaya-elongasi yang sesuai, dinyatakan dalam modulus (kemiringan pada kurva gaya terhadap elongasi). Geotekstil anyaman dan geogrid lebih sesuai pada kebanyakan fungsi sebagai perkuatan.

Jika geosintetik harus berfungsi sebagai filter/drainase, produk yang paling sesuai biasanya adalah geotekstil tanpa anyaman jenis pelubangan dengan jarum (*nonwoven needle-punched geotextile*) dengan ukuran pori geotekstil (*apparent opening size*, AOS) yang sesuai. Hal ini karena geotekstil tanpa anyaman jenis ini mempunyai permitivitas dan transmissivitas yang lebih tinggi, dimana sifat tersebut merupakan persyaratan utama untuk fungsi yang seperti ini (Shukla, 2003b).

Cara pengangkutan, penyimpanan, dan penempatan juga mempengaruhi pemilihan geosintetik. Geosintetik yang dipilih harus mempunyai kekuatan, ketebalan, dan kekakuan minimum tertentu sehingga cukup siap bertahan terhadap pengaruh penempatan di atas tanah dan beban yang diakibatkan oleh peralatan dan personil selama pemasangan. Dengan kata lain, selama pemilihan geosintetik, perekayasa konstruksi harus mempertimbangkan persyaratan daya

bertahan/kemampuan kerja, transmissivitas, dan permeabilitas di lapangan. Persyaratan ini dapat dinyatakan sebagai kuat grab (*grab strength*), kuat tusuk (puncture strength), kuat jebol (*burst strength*), impact strength, kuat robek (*tearing strength*), permeabilitas, transmissivitas, dll. Nilai aktual dari sifat-sifat daya bertahan geosintetik ini harus ditentukan berdasarkan tingkat kerusakan yang diperkirakan (rendah, sedang, tinggi, atau sangat tinggi) dalam pemasangannya pada kondisi lapangan tertentu.

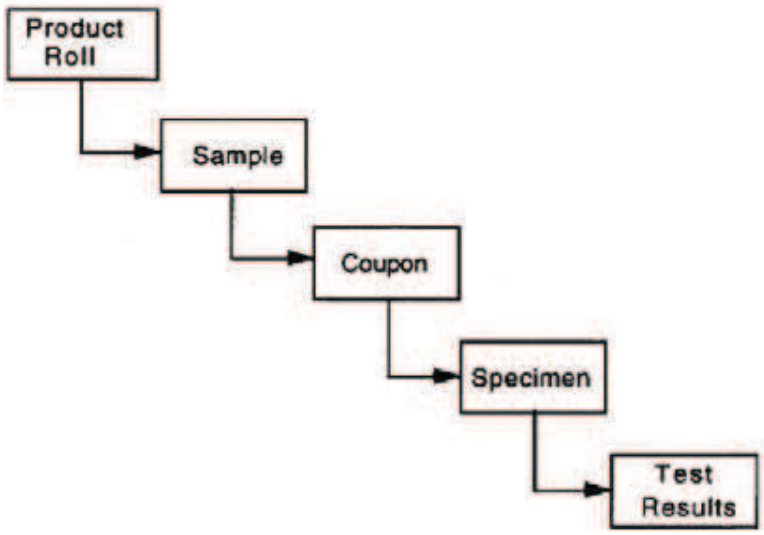
Seringkali, harga dan ketersediaan di pasaran dapat juga mempengaruhi pemilihan geosintetik.

4.2.3. Identifikasi dan Inspeksi

Pada saat penerimaan, tiap-tiap pengiriman gulungan geosintetik harus diinspeksi kesesuaiannya dengan spesifikasi produk dan dokumen kontrak dan diperiksa seandainya ada kerusakan. Perwakilan petugas yang menjamin mutu konstruksi harus hadir , jika memungkinkan, mengamati pengantaran dan pembongkaran material di lokasi pekerjaan. Sebelum dimasukan ke gudang atau membuka gulungan geosintetik, atau keduanya, identifikasi masing-masing gulungan harus diverifikasi dan harus dibandingkan dengan daftar pengepakan. Penyimpangan harus dicatat dan dilaporkan. Pada saat pengiriman gulungan material geosintetik, konsultan jaminan mutu konstruksi harus memastikan bahwa contoh untuk uji kesesuaian telah diambil. Contoh ini kemudian harus diteruskan ke laboratorium jaminan mutu geosintetik untuk dilakukan pengujian dalam rangka memastikan kesesuaian dengan spesifikasi berlaku di lokasi pekerjaan. Gulungan geosintetik yang tidak sesuai dengan spesifikasi material dapat ditolak. Gulungan geosintetik yang rusak, cacat bentuknya, atau hancur harus ditolak dan dipindahkan dari lokasi pekerjaan.

4.2.4. Metode Pengambilan Contoh dan Metode Uji

Contoh geosintetik harus dipotong dari gulungan produk yang dipasok dari pabrik pembuatnya sesuai dengan prosedur pengambilan contoh standar untuk menyediakan contoh yang valid secara statistik untuk pemilihan kupon dan benda uji (Gambar 21). Pada umumnya, sekurang-kurangnya satu contoh diambil untuk luas geosintetik $\leq$ 5000 m^2. Tiap-tiap gulungan yang dipilih harus kelihatan tidak rusak dan bahan pembungkus, jika ada, harus utuh. Dua lilitan pertama gulungan tidak boleh digunakan untuk pengambilan contoh. Contoh harus dipotong dari gulungan, sampai keseluruhan lebarnya, tegak lurus terhadap arah mesin. Suatu tanda (misalnya, tanda panah) harus digunakan untuk menyatakan arah mesin dari contoh. Jika dua muka geosintetik berbeda secara signifikan, contoh harus ditandai untuk menunjukan muka mana yang bagian dalam atau muka mana yang bagian luar dari lilitan gulungan.



Gambar 21. Hubungan antara gulung, contoh, kupon, dan benda uji (ASTM D 6213-97)

Contoh harus diberi tanda untuk tujuan identifikasi dengan informasi berikut ini:

- Merek/produsen/pemasok,
- Uraian jenis,
- Nomor gulungan,
- Tanggal pengambilan contoh.

Contoh harus disimpan di tempat kering, gelap, bebas dari debu, pada temperatur lingkungan, dan dilindungi terhadap kerusakan kimiawi dan kerusakan fisik. Contoh dapat digulung tetapi lebih baik tidak dilipat. Pengambilan contoh mungkin diharuskan untuk tiga tujuan: satu untuk uji kendali mutu pabrik pembuat, satu untuk uji jaminan mutu pabrik pembuat, dan satunya lagi untuk uji kesesuaian spesifikasi pembeli.

Untuk tiap-tiap jenis pengujian, jumlah benda uji yang diperlukan harus dipotong pada posisi yang terdistribusi secara merata dari keseluruhan lebar dan panjang contoh tetapi tidak boleh kurang dari 100 mm dari tepi contoh. Benda uji tidak boleh mengandung kotoran, bagian yang tidak rata, atau kerusakan lainnya, dan harus dalam kondisi sebagaimana disyaratkan dalam pengujian. Untuk kondisi atmosfir, benda uji harus digantung atau diletakan merata, satu per satu di atas rak kawat terbuka yang memungkinkan masuknya udara ke seluruh permukaan selama sekurang-kurangnya 2 jam. Untuk kondisi kering, benda uji harus ditempatkan di dalam *desiccator* sampai dengan masanya konstan. Untuk kondisi basah, benda uji harus direndam dalam temperatur $20 \pm 5^{\circ}C$ selama sekurang-kurangnya 24 jam. Untuk kebanyakan uji geosintetik, udara dipertahankan pada $21 \pm 2^{\circ}C$ dengan kelembaban antara 50% dan 70%.

4.2.5. Proteksi sebelum Pemasangan

Geosintetik harus ditangani dan disimpan sebagaimana mestinya untuk menjamin sifat-sifatmya terjaga sehingga dapat memberikan kinerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan dalam proyek. Pemilihan material

yang tepat dan penanganan yang hati-hati dapat mencegah kerusakan mekanis selama pengangkutan, penyimpanan, dan penempatan. Pada saat pengiriman, seluruh gulungan geosintetik harus dibungkus dengan lapis pelindung dari plastik untuk menghindari kerusakan selama pengangkutan.

Tempat penyimpanan harus berada sedekat mungkin dengan lokasi penggunaan, untuk meminimalkan penanganan lanjutan dan pengangkutan. Biasanya cukup dengan menumpukkan gulungan geosintetik yang lapisan pembungkusnya (plastik) tidak rusak langsung di atas tanah dengan ditutup dengan terpal kedap air atau lembaran plastik, asalkan tempat tersebut rata, kering, dapat mengering dengan baik, stabil, dan bebas dari benda tajam, misalnya pecahan batu, tunggul pohon atau semak-semak. Lokasi penyimpanan harus mampu melindungi geosintetik dari hujan, genangan air, radiasi sinar ultra violet, bahan kimia (asam atau basa yang kuat), percikan api dan pengelasan, temperatur tidak lebih dari kisaran 70°C, pengrusakan oleh manusia dan binatang, dan kondisi lingkungan lainnya yang dapat merusak geosintetik sebelum digunakan.

Tempat penyimpanan di dalam ruangan tertutup akan lebih baik jika gulungan geosintetik akan disimpan dalam jangka waktu yang lama. Akan tetapi, jika akan disimpan di luar ruangan dalam jangka waktu yang lama, tempat penyimpanan gulungan geosintetik harus diberi landasan dan diberi peneduh, kecuali gulungan dibungkus dengan material berwarna gelap. Batasan paparan terhadap ultra violet yang dapat diterima bergantung pada kondisi lingkungan di lokasi pekerjaan, seperti temperatur, angin, dan asumsi yang digunakan oleh perencana pada saat melakukan desain. Dalam kondisi bagaimanapun, geosintetik tidak boleh terpapar sinar ultra violet selama jangka waktu yang lebih dari dua minggu. Jika pembungkus mengalami kerusakan dan tidak diperbaiki, gulungan harus disimpan sedemikian rupa sehingga dapat mencegah air meresap. Jika tidak ditangani, geotekstil, khususnya jenis tanpa-anyaman, dapat menyerap air sampai dengan tiga kali beratnya, sehingga dapat menyebabkan permasalahan penanganan dan

pemasangan. Jika geosintetik akan digunakan sebagai filter, penting sekali menjaga pembungkus tetap utuh untuk memberikan perlindungan terhadap masuknya debu dan lumpur. Jika gulungan geosintetik menjadi basah, geosintetik harus dibiarkan terangin-angin selama beberapa hari setelah pembungkus dibuka untuk mengeringkannya.

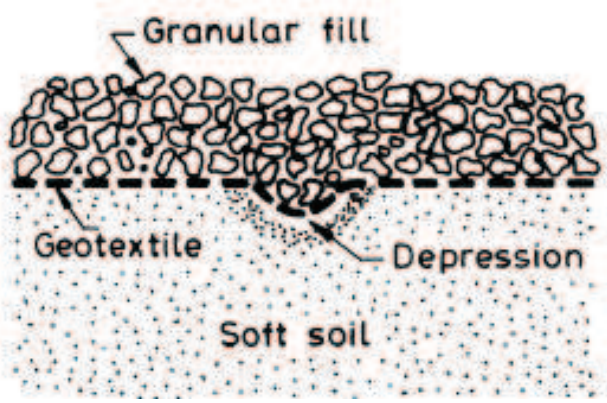
Gulungan geosintetik dapat ditumpuk satu sama lain, asalkan penempatannya sedemikian rupa sehingga gulungan tidak bergeser atau terguling dari tumpukannya. Tinggi tumpukan tidak boleh lebih dari tiga gulungan. Sebenarnya, ketinggian tumpukan harus dibatasi agar peralatan dan tenaga lapangan dapat mengambilnya dengan selamat dan lubang gulungan pada bagian bawah tumpukan tidak terlipat atau rusak

Pada prinsipnya, geosintetik harus disimpan dengan baik dan ditangani sesuai dengan rekomendasi dari pabrik pembuatnya. Jika hal tersebut tidak ada, panduan yang diuraikan pada bagian ini dapat digunakan sebagai panduan umum.

4.2.6. Penyiapan Lokasi Pekerjaan

Permukaan tanah asli mungkin perlu diratakan sampai dengan elevasi yang direncana. Selama penyiapan lokasi pekerjaan, benda-benda yang tajam, seperti bongkahan batu, tunggul pohon atau semak-semak, yang dapat menusuk atau merobek geosintetik, harus dibuang jika terdapat di lokasi pekerjaan. Seluruh benda yang menonjok keluar lebih dari 12 mm dari permukaan tanah dasar harus dibuang, dihancurkan atau ditekan ke dalam tanah dasar dengan menggunakan mesin gilas roda halus (*smooth-drum compactor*). Gangguan pada tanah dasar harus diminimalkan dimana struktur tanah, akar di dalam tanah dan tumbuh-tumbuhan kecil dapat memberikan kekuatan tambahan. Semua amblasan dan rongga harus diisi dengan material yang dipadatkan. Jika tidak, geosintetik membentuk seperti jembatan dan akan sobek ketika

material timbunan dihamparkan (Gambar 22). Pada kondisi tertentu, amblasan dapat dilapisi dengan geosintetik sebelum dihampar agregat. Jika peralatan lapangan menyebabkan alur pada tanah dasar, tanah dasar harus dikembalikan kondisinya sedemikian rupa sehingga kondisinya dapat diterima sebelum penempatan geosintetik dilanjutkan.



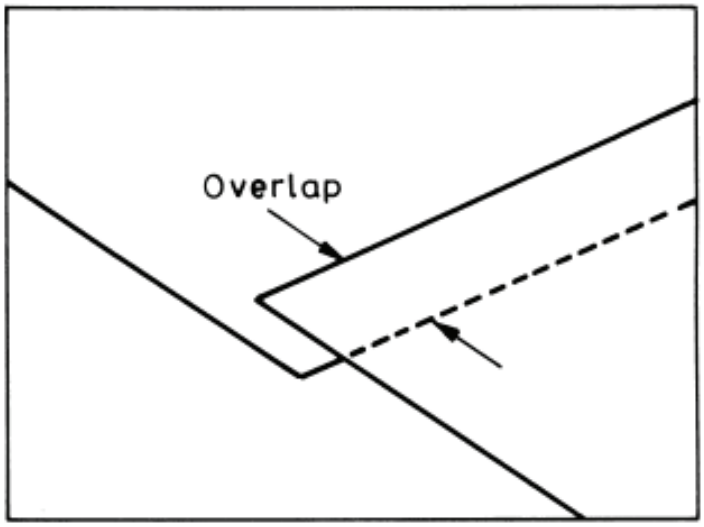
Gambar 22. Pengaruh amblasan pada tanah dasar terhadap geosintetik

4.2.7. Pemasangan Geosintetik

Pemasangan material geosintetik termasuk penempatan dan pengikatan geosintetik yang direkomendasikan. Sifat-sifat geosintetik hanya merupakan satu faktor dalam keberhasilan pemasangan geosintetik. Teknik Konstruksi dan pemasangan yang tepat sangat penting untuk menjamin bahwa fungsi geosintetik yang diharapkan dapat dipenuhi. Sehingga penempatan geosintetik merupakan satu langkah yang paling penting terhadap kinerja sistem tanah yang diperkuat dengan geosintetik. Pada saat menangani gulungan, baik secara manual maupun menggunakan peralatan mekanis pada tiap-tiap tahapan pemasangan, beban, jika ada, tidak boleh langsung diterima oleh geosintetik. Geosintetik harus digulung/dibuka gulungannya ke tempat yang diinginkan dan jangan digusur. Keseluruhan geosintetik harus ditempatkan dan diratakan serata mungkin.

Karena ukuran pori geotekstil pada beberapa penerapan, misalnya sebagai filter dan drainase, dipilih dengan tingkat akurasi yang tinggi pada tahapan desain, penting sekali agar dilakukan pengamatan selama tahap pemasangan sehingga bahwa abrasi dan penegangan berlebih tidak mengakibatkan perlebaran pori atau bahkan berlubang.

Suatu bagian yang tumpang tindih antara lembaran geosintetik yang berdekatan harus disediakan pada saat membuka gulungan geosintetik di atas lokasi pekerjaan yang sudah disiapkan (Gambar 23). Tumpang tindih umumnya digunakan sekurang-kurangnya 30 cm; akan tetapi, jika diantisipasi tegangan tarik pada geosintetik, tumpang tindih geosintetik harus ditambah atau lembaran geosintetik dijahit/diikat. Jika memungkinkan, bagian tumpang tindih tidak boleh berada pada lokasi perubahan atau tepi lapis penutup.



Gambar 23. Tumpang tindih (overlap) yang sederhana

Gambar 24. Konstruksi bagian tumpang tindih geosintetk: (a) salah (b) betul (after Pilarczyk, 2000)

Kesalahpahaman memperkirakan beban atau tegangan yang tidak dapat diperkirakan pada praktek konstruksi yang buruk adalah penyebab utama kerusakan, khususnya mekanis, selama proses pemasangan. Juga, pemasangan yang ceroboh, bagian-bagian geosintetik berserakan di sekitar lokasi pekerjaan, mengakibatkan pengaruh yang membahayakan terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pemasang, yaitu pihak yang memasang, atau yang memfasilitasi pemasangan geosintetik harus mempertimbangkan proses yang diperlukan agar dihasilkan pemasangan geosintetik yang (mendekati) sempurna.

4.2.8. Sambungan

Ukuran geosintetik terbatas dan oleh karenanya jika lebar atau panjang geosintetik yang diperlukan lebih besar dari yang dipasok maka perlu dilakukan penyambungan atau tumpang tindih. Karena sambungan atau tumpang tindih merupakan bagian yang paling lemah dalam struktur tanah yang diperkuat dengan geosintetik, maka dari itu harus dibatasi sesedikit mungkin.

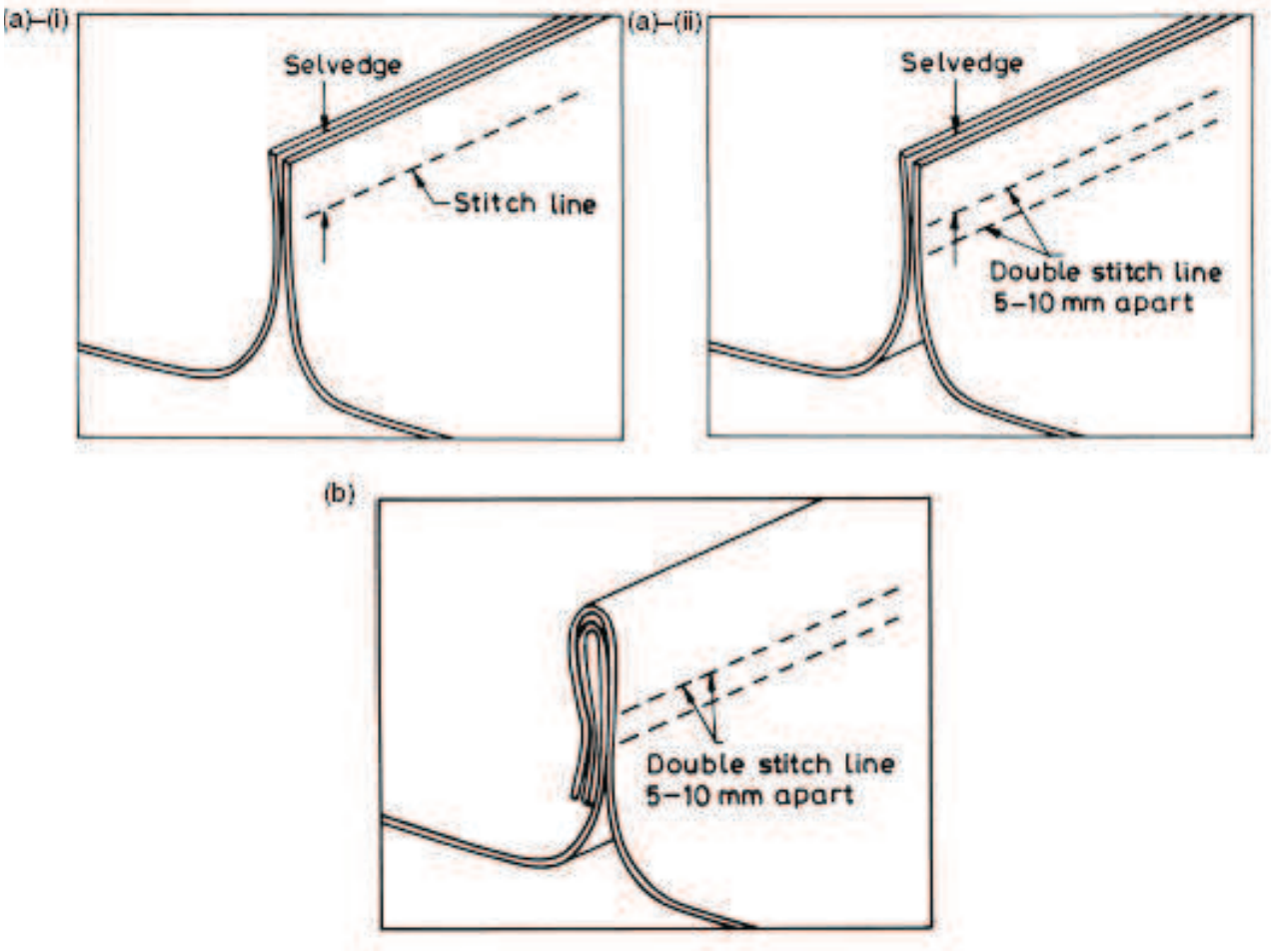
Ketika dua lembar geosintetik yang sejenis atau tidak disambungkan satu sama lain dengan cara yang sesuai, maka penggabungan itu disebut sambungan. Jika tidak terdapat penggabungan fisik di antara dua geosintetik maka hal ini dinamakan suatu tumpang tindih (overlap). Akan tetapi, kadang-kadang, tumpang tindih ini juga dianggap sebagai suatu jenis sambungan, dan dinamakan sambungan tumpang tindih.

Ada beberapa metode penyambungan, seperti, pertumpangtindihan, pengeliman, *stapling*, pengeleman, *thermal bonding*, dll. Pada sebagaian besar kasus lebar dan panjang geosintetik ditambah cukup dengan tumpang tindih, yang biasanya merupakan metode penyambung yang paling mudah dilaksanakan di lapangan (Gambar 23). Tumpang tindih sekitar 0.3 m – 1.0 m dapat dilakukan jika gaya tarik yang relatif rendah bekerja pada lapis geosintetik yang akan

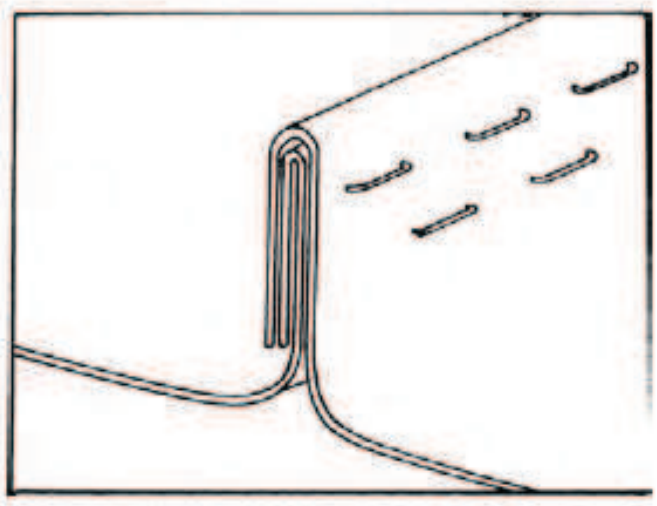
disambungkan. Tumpang tindih yang lebih lebar diperlukan jika geosintetik ditempatkan di bawah air. Tumpang tindih melibatkan penghamburan material yang sangat banyak dan jika tidak dilaksanakan dengan hati-hati dapat menjadi tidak efektif.

Geotekstil dapat disambungkan secara mekanis, yaitu dengan mengelim atau *stapling*, atau secara kimiawi dengan memberi perekat. Gambar 25(a) memperlihatkan konfigurasi sambungan yang paling sesuai yang dikenal sebagai "sambungan posisi berdoa". Jenis sambungan lainnya adalah sambungan tersusun ("J"), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 25(b), memberikan sambungan yang kedap, bahkan tanah berbutir halus pun tidak akan tembus. Bergantung pada sifat konstruksinya, sambungan satu jahitan atau dua jahitan dapat digunakan. Beberapa jenis benang tersedia (nilon, polimer dengan kinerja tinggi, dll.) bergantung pada jenis geotekstil dan jenis penerapannya di lapangan. AASHTO M 288-00 merekomendasikan bahwa benang yang digunakan untuk menyambung geotekstil dengan cara mengelim harus berupa *high strength polypropylene* atau *polyester*. Benang nilon tidak boleh digunakan.

Sambungan yang dikelim harus diarahkan ke atas sehingga setiap jahitan dapat diperiksa. Geosintetik berkekuatan tinggi, yang digunakan karena potensi perkuatannya, biasanya harus dikelim. Untuk menyambung geotekstil dengan metode *stapling*, *staples* yang tahan karat harus digunakan. Gambar 26 memperlihatkan konfigurasi sambungan jenis *stapled*. *Stapling* dapat digunakan pada geotekstil untuk membuat sambungan sementara. Jenis ini jangan pernah digunakan untuk sambungan struktural. Perlu diperhatikan bahwa sambungan yang dikelim adalah yang paling dapat diandalkan dan dapat dilakukan di lapangan dengan menggunakan alat jahit *portable*. Sambungan jenis yang diberi panas (*heat bonded*) atau diberi lem (*glued seam*) umumnya jarang digunakan.



Gambar 25. Sambungan yang dikelim: (a) sambungan berhadapan – (i) satu garis jahitan, (ii) dua garis jahitan, (b) sambungan tersusun ("J")



Gambar 26. Sambungan jenis *stapled*

Untuk geosintetik jenis geonet dan geogrid, dapat digunakan sambungan tusuk sanggul (*bodkin joint*), dimana dua bagian yang tumpang tindih digabungkan bersama-sama dengan menggunakan batang (*bar*) (Gambar 27). Geogrid dapat juga dikelim dengan menggunakan kabel yang kuat yang disusupkan melalui bukaan *grid*.

Kriteria untuk mengevaluasi kinerja sambungan harus dipahami. Kriteria kinerja sambungan dinyatakan dengan penyebaran beban di antara dua lembar geosintetik. Pada beberapa penerapan, mungkin penting bahwa kapasitas transfer beban sama dengan kapasitas yang dimiliki material aslinya. Pada beberapa situasi, kriteria yang lebih penting mungkin adalah besaran deformasi pada sambungan akibat pembebanan. Data kuat tarik sambungan diperlukan untuk seluruh fungsi geosintetik jika geosintetik disambung secara mekanis dan jika beban ditransfer melintasi sambungan.

Gambar 27. Sambungan tusuk sanggul (*bodkin joint*)

Kekuatan sambungan adalah tahanan tarik maksimum (dinyatakan sebagai kapasitas transfer-beban), dinyatakan dengan kN/m, sambungan yang dibentuk dengan menggabungkan dua lembar atau lebih geosintetik dengan metode tertentu (misalnya pengeliman). Efisiensi sambungan (E) dari sambungan dua lembar geosintetik adalah nilai perbandingan (dinyatakan dengan %) antara kuat tarik sambungan dengan kuat tarik lembaran geosintetik tanpa sambungan yang dievaluasi dalam arah yang sama. Efisiensi sambungan dinyatakan dengan rumusan yang berikut:

$$E = \left(\frac{T_s}{T_u} \times 100 \right) \%$$

dengan pengertian:

T_s = kuat tarik sambungan (kN/m)

T_u = kuat tarik lembaran geosintetik tanpa sambungan (kN/m)

Idealnya, sambungan harus lebih kuat dari geosintetik yang disambung dan tidak boleh putus akibat tarikan. Pada kenyataannya di lapangan, efisiensi yang tinggi jarang diperoleh. Semakin tinggi kuat tarik geosintetik, efisiensi sambungan akan semakin kecil. Untuk kuat tarik geosintetik di atas 50 kN/m, sambungan yang terbaik sekalipun mempunyai efisiensi kurang dari 100%. Untuk kuat tarik geosintetik di atas 200 kN/m – 250 kN/m, efisiensi terbaik yang dapat diperoleh adalah kira-kira 50%. AASHTO M 288-00 merkomendasikan bahwa jika sambungan keliman disyaratkan, kuat tarik sambungan, yang diukur sesuai dengan ASTM D4632, harus sama atau lebih besar dari 90% dari kuat grab yang disyaratkan.

4.2.9. Pemotongan Geosintetik

Pemotongan geosintetik memerlukan tenaga kerja yang banyak dan memakan waktu. Pada kebanyakan kasus, hal ini dapat dihindarkan dengan perencanaan yang matang. Lebar keseluruhan bidang yang akan ditutup dengan geosintetik jarang berupa perkalian yang pasti lebar geosintetik yang tersedia. Umumnya, lebar maksimum geosintetik adalah 5.3 m. pemborosan waktu dan biaya dapat dikurangi jika tumpang tindih yang agak lebar atau pembungkusan diizinkan untuk mengambil kelebihan lebar, daripada jika geosintetik dipotong di lokasi pekerjaan. Pada timbunan yang lerengnya curam, pembungkusan dapat meningkatkan pemadatan pada bagian tepi.

4.2.10. Proteksi selama konstruksi dan umur layan

Kerusakan akibat terpapar sinar ultra violet biasanya dapat dihindarkan dengan tidak meletakan geosintetik lebih banyak dalam satu hari dari yang dapat ditutup dengan material timbunan pada hari yang sama. Bagian gulungan geosintetik yang tidak digunakan digulung ulang dan segera dilindungi. Perlu diperhatikan bahwa jika geosintetik yang digunakan adalah jenis *UV-stabilized*; kerusakannya berkurang dengan besar, tetapi tidak seluruhnya hilang. Upaya harus dilakukan untuk menutup geosintetik dalam 48 jam setelah ditempatkan di lokasi pekerjaan. Geosintetik yang belum diuji ketahannya terhadap pelapukan harus ditutup pada saat pemasangan.

Sebelum penghamparan timbunan agregat di atas geosintetik, kondisi geosintetik harus diamati oleh konsultan supervisi yang sesuai kualifikasinya untuk menentukan tidak ada lubang atau koyakan pada geosintetik. Seluruh kerusakan, jika ada, harus diperbaiki. Seluruh kerutan dan lipatan geosintetik harus dihilangkan. Tindakan-tindakan yang berikut dapat menghasilkan tusukan, abrasi, atau penegangan berlebih yang dapat mengakibatkan kehilangan kekuatan atau pengurangan tingkat layanan produk geosintetik dan oleh karenanya harus dihindarkan.

- Menjatuhkan material timbunan dari ketinggian yang dapat merusak geosintetik,
- Ban kendaraan lapangan melintas di atas lapis penutup yang relatif tipis,
- Alat pemadat yang bekerja di atas lapis penutup.

Pada konstruksi jalan, kerusakan geosintetik yang disebabkan oleh menjatuhkan material timbunan biasanya tidak signifikan, kecuali jika geosintetik sangat ringan dan tipis. Lalu lintas atau beban pemadatan menyebabkan kerusakan yang lebih parah dibandingkan kerusakan yang disebabkan oleh penempatan material timbunan (Brau, 1996).

Peralatan lapangan yang dapat merusak geosintetik tidak boleh diizinkan beroperasi langsung di atas geosintetik. Sebenarnya, sekali geositetik diletakan, tidak boleh digunakan untuk lalu lintas sampai lapis timbunan yang cukup tebal dihamparkan di atasnya, sehingga harus diupayakan perlindungan terhadap geosintetik tersebut; jika tidak, geosintetik kemungkinan gagal memberikan kinerja yang diharapkan. Satu pengecualian terhadap ketentuan ini adalah jika digunakan geosintetik yang berat, yang khusus didesain untuk secara langsung digunakan untuk lalu lintas, tetapi prinsip "timbunan yang lebih tebal adalah lebih baik" valid di setiap lokasi pekerjaan. Pada konstruksi jalan, lapis pertama material timbunan di atas geosintetik harus mempunyai ketebalan minimum 200 mm – 300 mm, bergantung pada ukuran butiran agregat dan berat truk/mesin pemadat. Jawaban pastinya hanya akan diperoleh dari uji di lapangan. Ketebalan lapisan maksimum harus ditetapkan untuk mengendalikan kegagalan daya dukung di depan tempat menurunkan material timbunan yang disebabkan oleh berat timbunan yang berlebih. Telah diamati bahwa ketika material timbunan dihamparkan dengan ketebalan lebih dari 0.6 m – 0.9 m, geosintetik tidak mengalami kerusakan yang signifikan yang diakibatkan dari truk pengangkut atau vibrator mesin pemadat (U.S. Department of the Interior, 1992).

Kendaraan dan peralatan lapangan tidak boleh diizinkan berbalik arah atau memutar di atas lapis penghamparan pertama material timbunan. Kendaraan lapangan harus dibatasi ukuran dan beratnya agar alur pada lapis pertama tidak lebih dari 75 mm. Jika kedalaman alur melebihi 75 mm, ukuran dan berat kendaraan lapangan harus dikurangi. Pada tahap awal konstruksi, harus digunakan truk pengangkut yang kecil dan memberikan tekanan yang kecil terhadap tanah. Pada tanah dasar yang sangat lunak, kendaraan lapangan roda rantai baja khusus yang relatif ringan perlu digunakan untuk menyebarkan timbunan di atas lapis geosintetik. Selama pekerjaan penimbunan, *blade* atau *bucket* peralatan konstruksi tidak boleh diizinkan membuat kontak dengan geosintetik. Lapis penghamparan berikutnya dapat ditempatkan setelah

tanah dasar mengalami konsolidasi sehingga meningkatkan kuat gesernya. Pemadatan lapis penghamparan pertama material berbutir (agregat) biasanya dicapai dengan lalu lintasnya peralatan konstruksi. Mesin gilas roda halus atau alat pemadat roda karet dapat juga digunakan untuk pemadatan lapis penghamparan pertama. Mesin gilas roda halus dengan penggetar dapat diizinkan digunakan jika material penutup terus menumpuk. Mesin gilas roda halus dengan penggetar tidak boleh digunakan jika terjadi kondisi pencairan setempat. Pengujian kepadatan dengan kendaraan roda karet yang berat dapat menyediakan penegangan awal pada geosintetik dengan membentuk alur awal, yang selanjutnya harus ditimbun ulang dan diratakan.

Jika perlu menggunakan timbunan agregat bergradasi buruk dan peralatan konstruksi berat untuk penempatan dan pemadatan, mungkin perlu kebijaksanaan untuk menempatkan lapis bantalan pasir di atas geosintetik.

Jika geosintetik digunakan bersama-sama dengan material beraspal maka harus dilakukan dengan hati-hati untuk menjamin bahwa temperatur material beraspal di bawah titik leleh geosintetik. Jumlah lapis perekat memerlukan perhatian serius. Jumlah lapis perekat yang tidak mencukupi berarti kehilangan keuntungan sistem *paving fabric* dan mengakibatkan kerusakan pada lapis tambah. Geosintetik yang basah tidak boleh digunakan pada penerapan ini karena dapat menciptakan uap yang dapat menyebabkan bahan pengikat aspal terlepas dari geosintetik karena ikatannya jelek.

4.2.11. Evaluasi Kerusakan dan Perbaikan

Kemampuan mempertahankan fungsi geosintetik sebagaimana direncanakan (yaitu, perkuatan, separator, filter, dll.) dan/atau sifat-sifat desain geosintetik (yaitu, kuat tarik, modulus tarik, tahanan terhadap bahan kimia, dll.) dapat dipengaruhi oleh kerusakan struktur fisik geosintetik selama pelaksanaan pemasangan di lapangan. Oleh

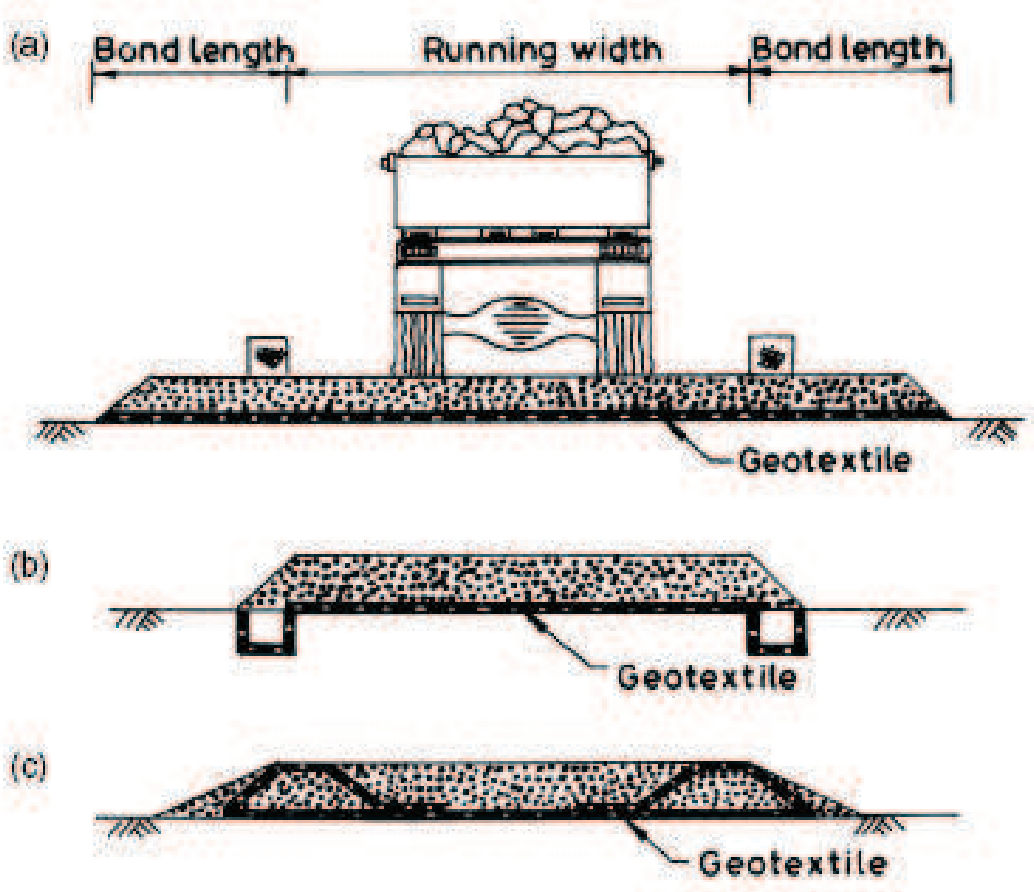
karena itu, sebelum geosintetik ditutup dengan material timbunan, konsultan supervisi harus memeriksa terhadap kemungkinan geosintetik berlubang, sobek, tergores, dll. Bagian uji coba (*trial section*) dapat digunakan untuk mengevaluasi material timbunan dan kondisi terburuk teknik pemasangan (misalnya, pemadatan berlebih, tebal lapis penghamparan yang tipis, tinggi jatuh material timbunan terlalu tinggi, dll.). Kerusakan geosintetik yang disebabkan pelaksanaan pemasangan dapat diukur dengan mengevaluasi potongan benda uji dari contoh yang digali dari lokasi pemasangan yang mewakili. Evaluasi kerusakan dapat dilakukan dengan pemeriksaan secara visual dan/atau pengujian di laboratorium terhadap potongan benda uji dari contoh yang digali dan contoh geosintetik yang tidak dipasang/asli (sebagai pembanding/kontrol).

Pengujian laboratorium yang dilakukan akan berbeda sesuai dengan jenis dan fungsi geosintetik dan persyaratan proyek. Perlu diperhatikan bahwa contoh untuk pembanding/kontrol harus diambil langsung bersamaan dengan waktu pengambilan contoh dari penggalian untuk meminimalkan perbedaan antara karakteristk benda uji pembanding/kontrol dan contoh dari penggalian akibat dari variabilitas inheren produk geosintetik. Posisi benda uji pada contoh pembanding/kontrol, relatif terhadap tepi gulungan, harus identik sesuai dengan posisi contoh dari penggalian. Jumlah, atau luas, contoh pembanding/kontrol harus diambil sama dengan luas contoh dari penggalian.

4.2.12. Peng-angkuran

Untuk mempertahankan posisi lembaran geositetik sebelum ditutup dengan material timbunan, tepi lembaran geosintetik harus dibebani atau diangkurkan ke dalam saluran, dengan demikian menyediakan tahanan cabut yang signifikan. Pemilihan pengangkuran bergantung pada kondisi di lokasi pekerjaan. Pada jalan tanpa perkerasan,

geosintetik harus diangkurkan pada tiap-tiap tepi jalan. Panjang geosintetik yang terikat (*bond length*), khasnya sekitar 1.0 m – 1.5 m dapat dicapai dengan memperpanjang geosintetik hingga di luar lebar jalan (*running width*) untuk lalu lintas (Gambar 28(a)) atau dengan menyediakan suatu bond length ekivalen dengan cara menimbun geosintetik dalam saluran dangkal (Gambar 28(b))atau dengan pembungkusan (Gambar 28(c)). Pendekatan yang sejenis juga dapat diadopsi untuk penerapan yang lain



Gambar 28. Penggunaan geosintetik pada konstruksi jalan tanpa perkerasan (after Ingold & Miller, 1988)

4.2.13. Penegangan Awal

Penegangan awal geosintetik dapat meningkatkan fungsi perkuatan pada beberapa penerapan. Sebagai contoh, untuk secara khusus menambah perkuatan pada perkerasan jalan di atas tanah dasar yang teguh, sistem penegangan awal geosintetik dapat disyaratkan. Dengan melakukan penegangan awal geosintetik, lapis pondasi agregat akan lebih padat, dengan demikian menyediakan pengekangan lateral dan akan secara efektif meningkatkan modulusnya dibandingkan dengan jalan tanpa perkuatan.

4.2.14. Pemeliharaan

Seluruh struktur tanah yang diperkuat dengan geosintetik harus diinspeksi dan dipelihara dengan program yang reguler. Disamping itu, juga harus dibiasakan selalu mencatat pelaksanaan inspeksi dan kegiatan pemeliharaan yang telah dilaksanakan.

4.2.15. Penanganan sampah geotekstil

Geosintetik yang tersisa di lapangan setelah pembersihan lapangan dan pembongkaran bagian pekerjaan dapat dibuang di tempat pembuangan akhir (TPA), dibakar atau didaur ulang. Langkah-langkah khusus harus diambil untuk mencegah pencemaran lingkungan.

4.3. Panduan Khusus

Penerapan geosintetik di lapangan memerlukan beberapa panduan khusus pelaksanaan konstruksi, sebagaimana diuraikan pada bagian yang berikut ini. Beberapa pabrik pembuat geosintetik telah mengembangkan grafik dan gambar desain sendiri, juga panduan

pelaksanaan konstruksi struktur yang diperkuat dengan geosintetik. Jika digunakan produk khusus geosintetik, panduan tersebut dapat dipertimbangkan. Akan tetapi, harus diperhatikan bahwa panduan-panduan tersebut mengasumsikan hal-hal yang berkaitan dengan kekuatan izin, faktor keamanan, dll., khusus untuk produk tersebut.

4.3.1. Jalan tanpa Perkerasan

Lapis geosintetik, umumnya geotekstil, khasnya ditempatkan langsung di atas permukaan tanah dasar yang diikuti dengan penempatan dan pemadatan lapis pondasi agregat dengan ketebalan tertentu.

Keberhasilan dalam penggunaan geotekstil memerlukan pemasangan yang baik, dan Gambar 29 menunjukan urutan kerja yang tepat untuk pelaksanaan konstruksi. Walaupun teknik pemasangan terlihat mudah, kebanyakan masalah geotekstil untuk jalan terjadi akibat pelaksanaan pemasangan yang kurang tepat.

Jika geotekstil sobek atau tertusuk selama aktifitas konstruksi, geotekstil tidak akan menunjukkan kinerja seperti yang sudah direncanakan. Jika geotekstil dihamparkan dengan banyak kerutan atau lipatan, geotekstil tidak berada dalam kondisi manahan tarik dan karenanya tidak akan memberikan fungsi perkuatan. Masalah lain dapat terjadi akibat penutupan geotekstil yang tidak sesuai, alur pada tanah dasar sebelum penempatan geotekstil dan tebal penghamparan yang tipis yang melebihi kapasitas daya dukung tanah. Berikut ini adalah prosedur yang harus diikuti bersamaan dengan pengawasan semua aktifitas konstruksi.

1. Lokasi pekerjaan harus dibersihkan dan digali hingga mencapai elevasi rencana, kupas semua lapisan atas tanah, tanah lunak atau material lain yang tidak sesuai (Gambar 29.a). Jika kondisi lokasi pekerjaan relatif kurang baik, misal CBR lebih besar dari 1, pengujian kepadatan dengan mengoperasikan truk pengangkut

yang ringan harus dipertimbangkan untuk membantu mengetahui lokasi material yang tidak sesuai.

2. Selama kegiatan pembersihan, harus diperhatikan untuk tidak terlalu mengganggu kondisi tanah dasar. Pekerjaan ini mungkin mengharuskan penggunaan dozer ringan untuk meratakan seluruh tanah dasar yang kekuatannya rendah, jenuh, baik yang non kohesif maupun yang kohesinya rendah.

3. Jika tanah dasar sudah siap, geotekstil harus dihamparkan searah dengan panjang jalan baru (Gambar 29.b). Pelaksanaan pemasangan geotekstil di lapangan dapat dipercepat jika geotekstil dikelim di pabrik sesuai dengan lebar rencana sehingga gulungan dapat dibuka dalam satu lembar geotekstil yang menerus. Geotekstil tidak boleh diseret di atas permukaan tanah dasar. Seluruh gulungan geotekstil harus ditempatkan dan dibuka gulungannya serata mungkin. Kerutan dan lipatan geotekstil harus dihilangkan dengan cara menarik dan dipasak sesuai keperluan.

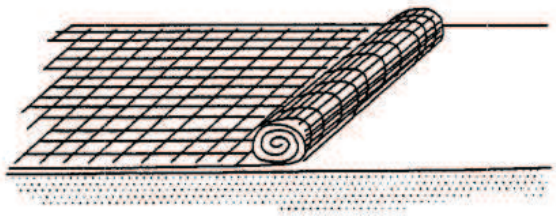
4. Gulungan geotekstil yang sejajar harus dibuat tumpang tindih, dikelim, disambungkan sesuai keperluan. Tumpang tindih (*ovelap*) yang direkomendasikan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Persyaratan tumpang tindih geostekstil untuk nilai-nilai CBR yang berbeda (after AASHTO, 2000)

Nilai CBR Tanah	Tumpang Tindih Minimum
> 3	300 – 450 mm
1 – 3	0,6 – 1 m
0,5 – 1	1 m atau dikelim
Kurang dari 0,5	Dikelim
Semua ujung gulungan	1 m atau dikelim

a. Prepare the ground by removing stumps, boulders, etc.; fill in low spots

PREPARE THE GROUND

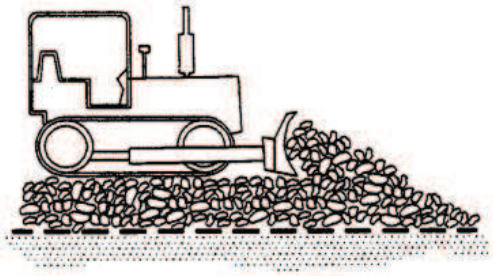


b. Unroll the geotextile directly over the ground to be stabilized. If more than one roll is required, overlap rolls. Inspect geotextile.

UNROLL THE GEOTEXTILE

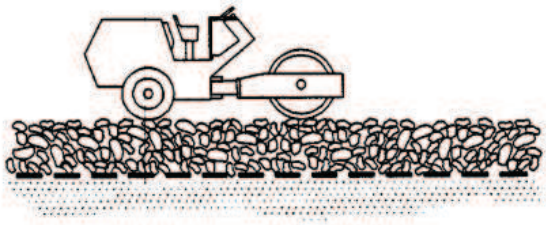
c. Back dump aggregate onto previously placed aggregate. Do not drive on the geotextile. Maintain 150 mm to 300 mm cover between truck tires and Geotextile.

BACK DUMP AGGREGATE



d. Spread the aggregate over the geotextile to the design thickness.

SPREAD THE AGGREGATE



e. Compact the aggregate using dozer tracks or smooth drum vibratory roller.

COMPACT THE AGGREGATE

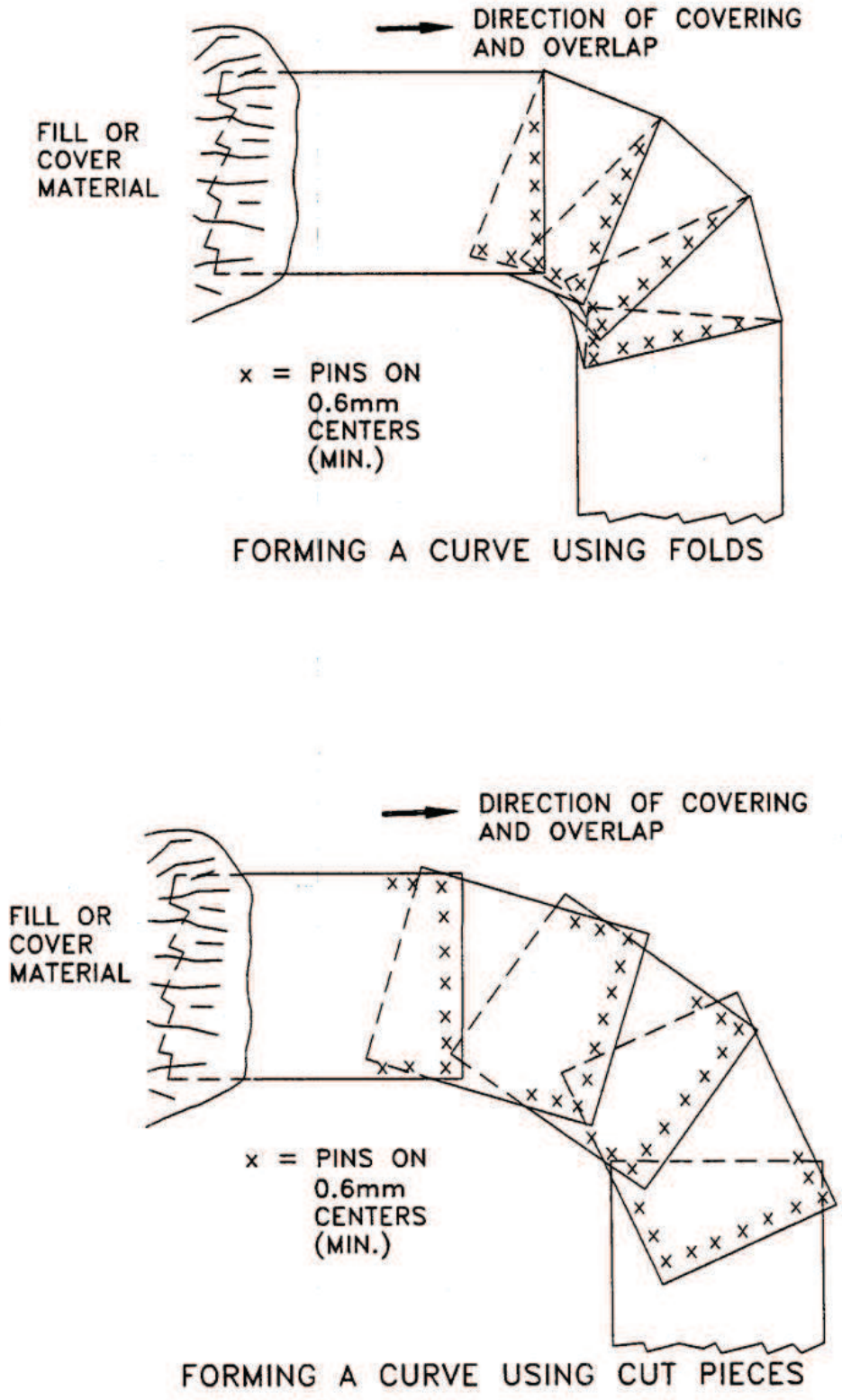
Gambar 29. Urutan kerja pemasangan geotekstil

Tumpang tindih geoteksil yang sejajar harus diposisikan pada as jalan dan pada bahu. Tumpang tindih tidak boleh dibuat di sepanjang perkiraan posisi jejak roda utama. Tumpang tindih pada ujung gulungan harus searah dengan penempatan timbunan agregat dengan lembar geotekstil lapis sebelumnya ditempatkan berada di bagian atas. Pemeriksaan visual terhadap seluruh sambungan yang dibuat di lapangan harus dilakukan secara terus menerus selama pemasangan geotekstil untuk menjamin bahwa tidak ada rongga pada bagian sambungan atau tumpang tindih. Perbaikan yang mungkin diperlukan selama pemasangan dapat diselesaikan dengan penambalan dengan mengambil sepotong geotekstil yang ukurannya ditambah kira-kira 30 cm pada tiap-tiap tepi bidang yang akan diperbaiki.

5. Pada tikungan, geotekstil harus dilipat atau dipotong dan dibuat tumpang tindih sesuai arah belokan dengan lembar geotekstil lapis sebelumnya ditempatkan berada di bagian atas (Gambar 30). Lipatan geotekstil harus dijepit *pin* dengan interval jarak kira-kira 0.6 m.

6. Jika geotekstil dipasang memotong perkerasan eksisting, geotekstil harus diperpanjang hingga tepi perkerasan eksisting. Untuk pemasangan geotesktil pada pelebaran atau memotong jalan eksisting yang sebelumnya sudah dipasang geotekstil, maka geotekstil perlu diangkur pada tepi jalan. Idealnya, tepi jalan harus digali sampai dengan geotekstil eksisting dan geotekstil yang baru dikelimkan terhadap geotekstil eksisting. Pada sambungan tersebut harus dibuat tumpang tindih dan dijepit dengan *staple* atau *pin*.

7. Sebelum ditutup, inspektur yang berpengalaman dalam menggunakan material geotekstil harus terlebih dahulu memeriksa kondisi geotekstil terhadap kemungkinan kerusakan (misalnya, berlubang, sobek, koyak, dll.). Jika ditemukan kerusakan yang berlebihan, bagian geotekstil yang rusak tersebut harus diperbaiki dengan menempatkan satu lapis geotekstil yang baru di atas



Gambar 30. Membentuk tikungandenga menggunakan geotekstil

bagian yang rusak. Bagian geotekstil yang tumpang tindih tersebut minimum harus diperpanjang sampai di luar bagian yang mengalami kerusakan. Sebagai alternatif, bagian geotekstil yang mengalami kerusakan dapat diganti.

8. Agregat lapis pondasi harus ditempatkan di atas bagian ujung agregat lapis pondasi yang sebelumnya dihamparkan (Gambar 29.c). Pada tanah dasar yang sangat lunak, tinggi gundukan agregat harus dibatasi untuk mencegah kemungkinan runtuhnya tanah dasar. Ketebalan lapisan maksimum penghamparan agregat untuk tanah yang seperti ini tidak boleh melebihi ketebalan desain jalannya.

9. Lapisan pertama agregat harus dihamparkan dan diratakan hingga setebal 300 mm atau sampai ketebalan desain jika tebalnya kurang dari 300 mm (Gambar 29.d). Kendaraan dan peralatan lapangan (misalnya grader, dozer, dll.) tidak diizinkan melintasi dan melakukan manuver di atas jalan yang berada di atas tanah dasar yang lunak yang memiliki ketebalan lapisan agregat di atas geotekstil kurang dari 200 mm (150 mm untuk CBR $\geq$ 3). Kendaraan dan peralatan lapangan dapat beroperasi di atas jalan tanpa lapis agregat untuk pemasangan geotekstil di bawah lapis pondasi yang permeabel, jika tanah dasar cukup kuat. Pada tanah yang sangat lunak, kendaraan dan peralatan lapangan yang ringan mungkin akan diperlukan untuk memasuki lokasi pekerjaan di atas lapis penghamparan agregat yang pertama. Kendaraan dan peralatan lapangan harus dibatasi ukuran dan beratnya agar alur pada lapisan penghamparan agregat yang pertama tidak lebih dari 75 mm. Jika kedalaman alur lebih dari 75 mm, kemungkinan perlu menurunkan ukuran dan/atau berat kendaraan dan peralatan lapangan atau menambah ketebalan lapisan penghamparan agregat. Sebagai contoh, mungkin perlu menurunkan ukuran dozer yang diperlukan untuk mendorong/menyebarkan material timbunan atau pada saat mengangkut material timbunan, truk hanya dimuati hingga setengah penuh.

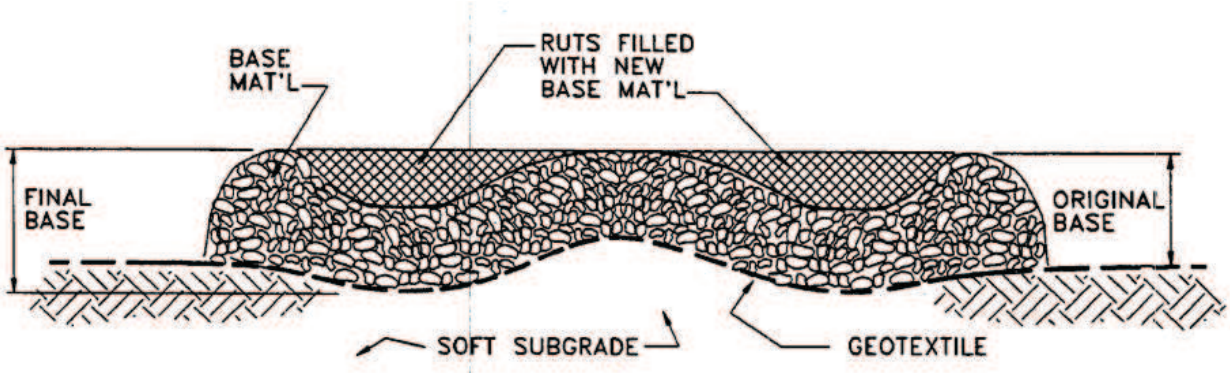
10. Penghamparan pertama agregat lapis pondasi harus dipadatkan dengan mengunakan roda rantai baja dozer, selanjutnya dipadatkan dengan mesin gilas roda halus dengan penggetar (*smooth drum vibrator roller*) untuk memperoleh kepadatan minimum setelah pemadatan (Gambar 29.e). Untuk konstruksi lapis pondasi yang permeable, pemadatan harus memenuhi persyaratan spesifikasi. Untuk tanah yang sangat lunak, kepadatan rencana seharusnya tidak diharapkan pada penghamparan pertama agregat lapis pondasi, untuk kasus ini, persyaratan pemadatan seharusnya diturunkan. Sebagai rekomendasi, pemadatan dapat diizinkan sampai dengan 5% lebih rendah dari kepadatan minimum yang disyaratkan dalam spesifikasi untuk penghamparan pertama agregat lapis pondasi.

11. Pelaksanaan konstruksi lapis pondasi agregat harus dilakukan sejajar dengan alinyemen jalan. Pemutaran arah kendaraan dan peralatan lapangan tidak diizinkan pada lapis pertama penghamparan agregat lapis pondasi. Untuk keperluan pemutaran arah kendaraan dan peralatan lapangan dapat dibuat di pinggir jalan untuk memudahkan pelaksanaan konstruksi.

12. Pada tanah dasar yang sangat lunak, jika geotekstil digunakan sebagai perkuatan, maka harus dipertimbangkan untuk melakukan penarikan awal (pretensioning) terhadap geotekstil. Untuk keperluan penarikan awal, lokasi pekerjaan harus diuji kepadatannya dengan cara *proofrolling* dengan menggunakan *dump truck* yang diisi beban berat. Beban roda seharusnya sama dengan beban maksimum yang direncanakan terjadi di lapangan. *Dump truck* tersebut harus melakukan sekurang-kurangnya empat lintasan di atas lapis pertama penghamparan agregat lapis pondasi pada masing-masing bagian jalan di lokasi pekerjaan. Sebagai alternatif, setelah lapis pondasi agregat yang direncanakan telah selesai dihamparkan, jalan dapat digunakan selama periode tertentu untuk memberikan penegangan awal terhadap sistem

agregat – geotekstil pada bagian-bagian tertentu, sebelum lapisan beraspal struktur perkerasan dikerjakan.

13. Alur yang terbentuk selama konstruksi harus diisi kembali dengan agregat lapis pondasi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 31, untuk menjaga dan mempertahankan penutupan yang mencukupi di atas geotekstil. Dalam kondisi apapun, tidak diperbolehkan mengisi alur dengan mendorong agregat lapis pondasi dari sisi kiri atau sisi kanan alur karena akan mengurangi ketebalan agregat di antara alur dan sisi kiri atau sisi kanan alur.



Gambar 31. Perbaikan Alur Menggunakan Material Tambahan

14. Semua sisa agregat lapis pondasi harus dihamparkan dengan ketebalan gembur lapisan penghamparan tidak lebih dari 250 mm dan dipadatkan hingga mencapai kepadatan yang disyaratkan.

4.3.2. Jalan dengan Perkerasan

Sistem antar muka *paving fabric* dipandang sebagai cara ekonomis yang dapat secara efektif mengatasi permasalahan umum kerusakan perkerasan. Sistem ini mudah dipasang dan dengan mudah ditambahkan pada pekerjaan penghamparan campuran beraspal. Waktu yang ideal untuk menempatkan sistem antar muka *paving fabric* adalah pada tahap awal terjadinya retak rambut pada permukaan

perkerasan. Sistem ini juga cocok digunakan pada konstruksi perkerasan baru untuk menyediakan perkerasan yang kedap air sejak hari pertama pengoperasian jalan.

Ada empat langkah dasar pemasangan sistem lapis tambah dengan menggunakan antar muka geosintetik. Penyiapan permukaan jalan diikuti dengan penyemprotan lapis perekat, pemasangan geosintetik, dan akhirnya penghamparan lapis tambah. Langkah-langkah ini bersama-sama dengan panduan umumnya diuraikan pada bagian yang berikut:

Langkah 1: Penyiapan permukaan jalan

Permukaan jalan disiapkan dengan membuang material halus dan tonjolan-tonjolan tajam dan menutup retakan, sesuai dengan yang diperlukan. Permukaan jalan yang sudah disiapkan harus rata, kering, dan bebas dari kotoran, minyak, dan material lepas. Lebar celah retakan yang sama atau lebih dari 3 mm, harus dibersihkan dengan udara bertekanan atau sikat dan diisi dengan cairan aspal penutup retakan. Tindakan ini akan mencegah lapis perekat memasuki celah retakan dan mengurangi ketersediaan perekat untuk fabric yang jenuh. Celah retakan yang sangat lebar harus diisi dengan campuran beraspal panas atau dingin. Material pengisi retakan buatan pabrik juga dapat digunakan. Retakan harus rata dengan permukaan perkerasan dan tidak boleh diisi berlebihan. Jika kualitas jalan lama relatif jelek, lapis perata beton aspal dihamparkan di atasnya sebelum sistem antar muka *paving fabric* ditempatkan. Di atas jalan beton, harus dihamparkan satu lapis beton aspal sebelum fabric diletakan. Permukaan jalan dimana antar muka *paving fabric* ditempatkan harus mempunyai kemiringan yang akan mengalirkan air dari permukaan perkerasan.

Langkah 2: Penyemprotan lapis perekat

Penyemprotan yang tepat lapis perekat sangat penting; kesalahan-kesalahan dapat mengakibatkan kerusakan dini pada lapis tambah. Bahan pengikat aspal keras merupakan pilihan terbaik dan paling ekonomis untuk lapis perekat paving fabric. Aspal cair (*cut back*) dan

aspal emulsi yang mengandung bahan pelarut tidak boleh digunakan sebagai bahan perekat; jika keduanya digunakan maka harus diterapkan dalam jumlah yang lebih tinggi dan diberi kesempatan bereaksi sepenuhnya. Temperatur lapis perekat harus cukup tinggi, yaitu antara 140°C – 160°C agar dapat disemprotkan dengan merata dan mencegah kerusakan pada paving fabric. Lebar sasaran penyemprotan lapis perekat harus sama dengan lebar *paving fabric* ditambah 75 mm pada tiap-tiap sisi lembar *paving fabric*.

Lapis perekat harus dibatasi hanya di sekitar tempat *paving fabric* diletakan. Disamping jumlahnya yang tepat, keseragaman/kerataan penyemprotan lapis perekat adalah sangat penting. Penyemprotan lapis perekat harus dilakukan dengan batang semprot pendistribusi aspal yang sudah dikalibrasi. Peralatan penyemprotan manual (*hand sprayer*) dapat digunakan di lokasi tumpang tindih *paving fabric*. Penyemprotan manual harus dilakukan dengan hati-hati untuk memastikan penyemprotan lapis perekat yang seragam dan merata.

Langkah 3: Penempatan geosintetik

Paving fabric harus ditempatkan sebelum lapis perekat mendingin dan kehilangan rekatan. *Paving fabric* ditempatkan di atas lapis perekat dengan bagian yang kasar menghadap ke bawah dan bagian yang halusnya ke arah atas. Penempatannya dapat dilakukan secara manual atau menggunakan peralatan mekanis yang mempunyai kemampuan pemasangan yang rata tanpa berkerut atau terlipat. Saat ini pemasangan *paving fabric* sebagian besar menggunakan traktor yang dipasangi rig. Pada saat pemasangan *paving fabric* dapat dilakukan sedikit penarikan untuk meminimalkan kerutan. Namun demikian, peregangan tidak direkomendasikan, karena akan mengurangi ketebalan *paving fabric*, mengubah karakteristik penahanan bahan pengikat pada *fabric*. Elongasi yang terlalu kecil dapat mengakibatkan kerutan. Sedangkan elongasi yang terlalu besar dapat mengakibatkan peregangan yang berlebih, menipiskan geosintetik sehingga mungkin tidak cukup tebal untuk menyerap lapis perekat, menyisakan kelebihan lapis perekat yang dapat merembes ke permukaan perkerasan pada

kondisi panas. Kerutan dan tumpang tindih dapat menyebabkan retakan pada lapis tambah baru jika tidak ditangani denga tepat selama proses konstruksi.

Tumpang tindih dan seluruh kerutan yang tumpang tindih pada *fabric* dan komposit geogrid harus diberi lapis perekat tambahan. Lapis perekat harus mencukupi untuk menjenuhkan kedua lapisan dan membuat ikatan. Jika tidak dikerjakan dengan benar, kemungkinan terbentuk bidang gelincir pada tiap-tiap sambungan tumpang tindih (*overlap*), memungkinkan terjadinya retakan pada permukaan perkerasan. Lebar tumpang tindih tidak boleh lebih dari 150 mm pada sambungan memanjang dan sambungan melintang. Hal ini berbeda dengan pada geogrid dan tiap-tiap pabrik pembuat mempunyai rekmonendasinya sendiri untuk lebar tumpang tindih. Prosedur kerja terbaik adalah memasang *paving fabric* pada satu lajur dan dilanjutkan dengan pemberian lapis tambhan untuk melayani lalu lintas sebelum pemasangan pada lajur yang lainnya. Sekitar 150 mm *fabric* harus disisakan tidak diberi perkerasan untuk tumpang tindih pada panel *fabric* yang berdekatan untuk pemasangan selanjutnya.

geogrid untuk perkuatan perkerasan dipasang di atas bahan pengikat aspal yang tipis atau dapat ditempelkan di atas permukaan lama dengan peralatan mekanik (dipaku) atau dilem, untuk mencegah geogrid terangkat pada saat peralatan penghamparan lapis tambah melintas di atasnya. Pada saat komposit geogrid dan geotekstil dipasang, lapis perekat disemprotkan dengan cara yang sama dengan pada saat pemberian lapis tambah yang diperkuat dengan geostekstil saja.

Pemasangan geosintetik di sekitar tikungan jalan tanpa menimbulkan kerutan yang berlebih merupakan pekerjaan yang paling sulit. Akan tetapi, dengan prosedut pemasangan yang tepat, kesulitan ini dapat diseleaikan dengan mudah. Jangan membuka gulungan geosintetik di sekitar tikungan jalan secara manual karena akan sangat banyak kerutan. Penempatan geosintetik di sekitar tikungan yang pendek lebih baik dilakukan dengan peralatan mekanis. Tetapi beberapa kerutan minor masih mungkin terjadi. Geogrid mempunyai elongasi yang kecil

sehingga tidak akan meregang di sekitar tikungan. Pada kebanyakan kasus, geogrid akan memerlukan pemasangan secara manual atau menggunakan peralatan mekanis pada bagian jalan yang pendek untuk menghindarkan kerutan (Barazone, 2000).

Lapis perekat yang berlebih, yang merembes melalui *paving fabric*, dihilangkan dengan menghamparkan campuran beraspal panas atau menghamparkan pasir di atasnya. Lalu lintas kendaraan lapangan di atas geosintetik harus dikendalikan dengan hati-hati. Pembelokan tajam dan pengereman dapat merusak *paving fabric*. Untuk alasan keselamatan, hanya kendaraan untuk pelaksanaan pekerjaan yang diperbolehkan melintas di atas *paving fabric* yang baru dipasang.

Langkah 4: Penempatan lapis tambah

Seluruh bagian jalan yang sudah dipasang geosintetik harus diberi lapis tambah pada hari yang sama. Sebenarnya, konstruksi lapis tambah beton aspal harus dilakukan segera setelah geosintetik ditempatkan. Aspal dapat dihamparkan dengan peralatan mekanis maupun konvensional. Pemadatan harus dilakukan segera setelah campuran beraspal dihamparkan untuk menjamin ikatan yang kuat pada material lapisan yang berbeda.

Temperatur campuran beraspal untuk lapis tambah tidak boleh lebih dari 160°C untuk menghindarkan kerusakan pada *paving fabric*. Pekerjaan lapis tambah tidak boleh dilakukan jika temperatur campuran beraspal kurang dari 120°C. Ketebalan lapis tambah yang mencukupi menghasilkan panas yang cukup untuk menyerap lapis perekat, ke dalam dan melalui *paving fabric*, sehinga menciptakan ikatan. Sebenarnya, panas pada campuran beraspal lapis tambah dan tekanan yang bekerja akibat pemadatan mendorong lapis perekat ke dalam *paving fabric* dan menyelesaikan proses pengikatan. Jika tidak terdapat panas sisa yang mencukupi setelah pemadatan, proses pengikatan akan terganggu dan menghasilkan bidang licin dan akhirnya kegagalan lapis tambah. Ketebalan lapis tambah tidak boleh kurang dari 40 mm. Pemadatan campuran beraspal segera setelah penghamparan

membantu konsentrasi panas dan memasok tekanan untuk memulai proses perembesan bahan pengikat aspal ke dalam dan melalui *paving fabric*. Hal ini sangat penting jika menggunakan lapis tambah yang lebih tipis karena campuran beraspal akan mendingin dengan lebih cepat.

Antar muka *paving fabric* dapat juga digunakan pada pekerjaan pelaburan atau pekerjaan lapis permukaan tipis lainnya. Pada kasus ini, panas yang mencukupi tidak tersedia untuk mengaktifkan ulang lapis perekat. Oleh karena itu, *paving fabric* yang dipasang harus dilintasi atau dipadatkan dengan mesin pemadat pneumatic untuk mendorong *paving fabric* secara penuh ke dalam lapis perekat. Pasir tipis dapat ditebarkan untuk menghindarkan lekatan bahan pengikat aspal selama pemadatan. Segera setelah *paving fabric* menyerap lapis perekat, laburan permukaan diberikan selebar permukaan jalan yang akan dilabur.

Disarankan bahwa, mempertimbangkan variabilitas material dan lokasi pekerjaan, pengguna pemula antar muka *paving fabric* harus mendapatkan bantuan dari pabrik pembuat dan pemasang *paving fabric*.

4.4. Soal Latihan

Pilihlah jawaban yang paling tepat untuk pertanyaan-pertanyaan berikut ini.

1. Geosintetik tidak boleh terpapar terhadap sinar ultra violet selama masa yang lebih dari
   (a) Satu minggu.
   (b) Dua minggu.
   (c) Tiga minggu.
   (d) Satu bulan.

2. Temperatur tempat penyimpanan geosintetik di lapangan umumnya tidak boleh lebih dari
   (a) 21°C.
   (b) 27°C.
   (c) 70°C.
   (d) Semua jawaban di atas salah.
3. Jika bagian tumpang tindih geosintetik digunakan, lebarnya tidak boleh kurang dari
   (a) 15 cm.
   (b) 30 cm.
   (c) 1 m.
   (d) Semua jawaban di atas salah.
4. AASHTO M 288-00 merkomendasikan bahwa jika sambungan keliman disyaratkan, kuat tarik sambungan, yang diukur sesuai dengan ASTM D4632, harus sama atau lebih besar dari
   (a) 50% dari kuat grab yang disyaratkan.
   (b) 70% dari kuat grab yang disyaratkan.
   (c) 90% dari kuat grab yang disyaratkan.
   (d) Semua jawaban di atas salah.
5. Pada konstruksi jalan, lapis pertama material timbunan di atas geosintetik harus mempunyai ketebalan minimum
   (a) 200 mm.
   (b) 200 mm – 300 mm.
   (c) 300 mm.
   (d) 1 m.
6. Pada jalan tanpa perkerasan, tumpang tindih gulungan geosintetik yang sejajar tidak boleh ditempatkan pada
   (a) As/sumbu jalan.

(b) Bahu jalan.

(c) Perkiraan posisi jejak roda utama

(d) Semua jawaban di atas salah.

7. Yang manakah dari yang berikut ini merupakan bahan yang terbaik dan termurah untuk digunakan sebagai lapis perekat (*tack coat*) *paving fabric*?

(a) Bahan pengikat aspal keras (*Paving-grade bitumen*).

(b) Aspal cair (*Cut back*).

(c) Aspal emulsi (*Emulsion*).

(d) Semua jawaban di atas salah.

8. Untuk menghindarkan kerusakan terhadap *paving fabric*, temperatur maksimum campuran beraspal untuk lapis tambah adalah

(a) 50°C.

(b) 100°C.

(c) 160°C.

(d) Semua jawaban di atas salah.

5 Spesifikasi Geosintetik

5.1. Pengantar

Geosintetik tersedia dengan bermacam-macam geometrik dan komposisi polimer untuk memenuhi bermacam-macam fungsi dan penggunaan. Geosintetik dapat dibuat untuk memenuhi persyaratan khusus, sesuai dengan jenis penggunaannya.

Pada saat dipasang, suatu geosintetik dapat memberikan kinerja yang lebih dari satu fungsi; akan tetapi, pada umumnya salah satu dari fungsi tersebut akan memberikan faktor keamanan yang lebih rendah. Penggunaan geosintetik pada penggunaan yang spesifik memerlukan pengklasifikasian fungsi, apakah sebagai fungsi primer atau fungsi sekunder. (Tabel 5) memperlihatkan klasifikasi geosintetik yang dapat membantu dalam memilih jenis geosintetik yang tepat untuk mengatasi permasalahan yang ada. Masing-masing menggunakan satu atau lebih sifat-sifat geosintetik, misalnya kuat tarik atau permeabilitas, dikenal sebagai sifat-sifat fungsional. Konsep fungsi geosintetik umumnya digunakan dalam desain dengan rumusan faktor keamanan (FK), sebagaimana dinyatakan pada rumusan yang berikut:

$$FK = \frac{\text{Sifat fungsional izin (atau hasil uji)}}{\text{Sifat fungsional yang diperlukan (atau desain)}}$$

Tabel 5. Pemilihan geosintetik berdasarkan fungsinya

Fungsi yang akan diberikan oleh geosintetik		Geosintetik yang dapat digunakan
Separator	Primer Sekunder	GTX, GCP, GFM GTX, GGR, GNT, GMB, GCP,GFM
Perkuatan	Primer Sekunder	GTX, GGR, GCP GTX, GCP
Filter	Primer Sekunder	GTX, GCP GTX, GCP
Drainase	Primer Sekunder	GTX, GNT,GCP, GPP GTX, GCP, GFM
Penghalang zat cair	Primer Sekunder	GMB, GCP GCP
Proteksi	Primer Sekunder	GTX, GCP GTX, GCP

Keterangan:

GTX = Geotekstil, GGR = Geogrid, GNT = Geonet, GMB = Geomembran, GFM = Geofoam, GPP = Geopipe, GCP = Geokomposit

Sifat fungsional izin adalah sifat yang tersedia, diukur dengan uji kinerja (*performance test*) atau uji indeks, mungkin dikurangi untuk memperhitungkan ketidakpastian dalam penentuannya atau dalam kondisi spesifik lapangan lainnya selama umur rencana sistem tanah-geosintetik. Sedangkan nilai sifat fungsional yang diperlukan ditetapkan oleh perencana atau persyaratan dengan menggunakan metode analisis dan desain atau panduan empirik untuk kondisi aktual di lapangan. Keseluruhan proses ini, umumnya disebut sebagai “desain berdasarkan fungsi”, digunakan secara luas. Besaran aktual faktor keamanan bergantung pada implikasi kegagalan, yang selalu bergantung pada kondisi spesifik lapangan. Jika faktor keamanan lebih besar dari satu (FS

> 1) maka geosintetik tersebut dapat diterima untuk digunakan karena dapat menjamin kestabilan dan layanan struktur.

Sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 5, geostekstil dan geokomposit memperlihatkan paling banyak fungsi dan karenanya keduanya digunakan pada banyak aplikasi. Geotekstil adalah diproduksi berpori. Geotekstil pelubangan dengan jarum tank-teranyam yang tebal mempunyai volume rongga yang sangat besar dalam strukturnya sehingga dapat mengantarkan zat cair di dalam strukturnya hingga derajat yang sangat tinggi. Geotekstil dapat juga digunakan sebagai penghalang zat cair jika diisi dengan material sejenis bahan pengikat aspal. Geotekstil bermacam-macam sesuai dengan jenis polimer, jenis serat, dan jenis *fabric* yang digunakan.

Geogrid digunakan terutama sebagai perkuatan dan kadang sebagai separator, khususnya jika tanah mempunyai ukuran butiran yang sangat besar. Kinerja geogrid sebagai perkuatan mengandalkan kekakuan atau modulus tarik yang tinggi dan geometrik porinya yang mempunyai kapasitas tinggi yang menyediakan kuncian dengan partikel tanah.

Agar geotekstil berfungsi dengan baik sebagai perkuatan, friksi harus dihasilkan antara tanah dan perkuatan untuk mencegah geseran. Sedangkan pada geogrid, perkuatan dihasilkan dari kuncian tanah pada pori/bukaan geogrid. Dalam hal ini, geotekstil merupakan perkuatan yang bergantung pada tahanan friksi, sedangkan geogrid adalah perkuatan yang bergantuk pada tahanan pasif.

Pemilihan geosintetik untuk penggunaan khusus dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu spesifikasi, daya bertahan, ketersediaan, harga, dan pelaksanaan konstruksi. Daya bertahan dan sifat-sifat lainnya termasuk harga geosintetik bergantung pada jenis polimer yang digunakan sebagai bahan dasar untuk pembuatannya. Agar dapat secara akurat menentukan geosintetik yang akan menyediakan sifat-sifat diperlukan, penting sekali mempunyai sekurang-kurangnya pemahaman dasar bagaimana polimer dan proses produksi mempengaruhi sifat-sifat produk akhir geosintetik, sebagaimana

dibahas pada Volume 1 modul ini. Tabel 6 memberikan sifat-sifat dasar beberapa polimer yang digunakan untuk rujukan dalam memilih geosintetik.

Sebagai contoh, geotekstil dapat digunakan untuk beberapa fungsi dasar, misalnya separator, perkuatan, filter, drainase, dan proteksi. Geotekstil diproduksi dengan menggunakan polipropylene, polyester, polyethylene atau polyamide. Geostekstil yang difungsikan sebagai perkuatan harus kuat, relatif kaku, dan lebih baik jika materialnya tembus air.

Tabel 6. Sifat-sifat khas polimer yang digunakan untuk memproduksi geosintetik

Polimer	Berat Jenis	Titik Leleh (^{o}C)	Kuat Tarik pada 20°C (MN/m^{2})	Modulus Elastisitas (MN/m^{2})	Regangan pada saat putus (%)
PP	0.90 – 0.91	165	400 – 600	2000 – 5000	10 – 40
PET	1.22 – 1.38	260	800 – 1200	12000 – 18000	8 – 15
PE	0.91 – 0.96	130	80 – 600	200 – 6000	10 – 80
PVC	1.30 – 1.50	160	20 – 50	10 – 100	50 – 150
PA	1.05 – 1.15	220 – 250	700 – 900	3000 – 4000	15 – 30

Keterangan:
PP = Polypropylene, PET = Polyester (polyethylene terephthalate) PE = Polyethylene, PVC = Polyvinyl chloride, PA = Polyamide

Tabel 6 mengindikasikan bahwa *polyester* mempunyai kuat tarik yang tinggi pada regangan yang relatif rendah. Sehingga geotekstil teranyam dari bahan polyester merupakan pilihan logis untuk digunakan sebagai perkuatan. Untuk fungsi separator/filter, geotekstil harus lentur, tembus air dan butiran tanah tidak dapat tembus (*soil-tight*). Geotekstil tanpa-anyaman atau geotekstil teranyam yang beratnya ringan dari bahan polyethylene merupakan pilihan yang logis untuk digunakan sebagai separator atau filter. Perlu diperhatikan bahwa faktor

lingkungan dan kondisi lokasi pekerjaan juga sangat mempengaruhi pemilihan geosintetik (Shukla, 2003b).

Kadang-kadang, selama proses pemilihan, dapat ditemukan beberapa geosintetik yang memenuhi persyaratan minimum untuk fungsi tertentu. Pada situasi seperti ini, geosintetik harus dipilih berdasarkan perbandingan antara harga dan keuntungan (*cost-benefit rasio*), termasuk pengalaman lapangan dan dokumen pendukung produk berkenaan.

Sifat-sifat geosintetik dapat berubah menjadi tidak baik dengan beberapa cara, diantaranya penuaan, kerusakan mekanis (khususnya oleh penegangan pada saat pemasangan), rangkak, hidrolisis (reaksi dengan air), serangan bahan kimia dan biologi, terpapar sinar ultra violet, dll. Faktor-faktor ini harus dipertimbangkan jika geosintetik dipilih.

Mempertimbangkan resiko dan konsekuensi kegagalan, khususnya untuk proyek yang kritis, pemilihan geosintetik yang tepat harus dilakukan dengan lebih hati-hati. Perencana tidak boleh mencoba menghemat dengan menghilangkan uji kinerja tanah-geosintetik jika pengujian tersebut harus dilakukan dalam rangka pemilihan geosintetik.

5.2. Persyaratan Fisik Geotekstil

Serat (*fiber*) yang digunakan untuk membuat geotekstil dan tali (*thread*) yang digunakan untuk menyambung geotekstil dengan cara dijahit, harus terdiri dari polimer sintetik rantai panjang yang terbentuk dari sekurang-kurangnya 95% berat poliolefin atau poliester. Serat dan tali harus dibentuk menjadi suatu jejaring stabil sedemikian rupa sehingga filamen (serat menerus) atau untaian serat (*yarn*) dapat mempertahankan stabilitas dimensinya relatif terhadap yang lainnya, termasuk *selvage* (bagian tepi teranyam dari suatu lembar geotekstil yang sejajar dengan arah memanjang geotekstil).

Geotekstil yang digunakan untuk drainase bawah permukaan, pemisah (separator) dan stabilisasi harus memenuhi persyaratan fisik yang tertera pada pasal 8 spesifikasi ini.

Seluruh nilai, kecuali Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*), dalam spesifikasi ini menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (*Minimum Average Roll Value, MARV*) pada arah utama terlemah (yaitu nilai rata-rata hasil pengujian dari suatu rol dalam suatu lot yang diambil untuk uji kesesuaian atau uji jaminan mutu harus memenuhi atau melebihi nilai minimum yang tertera dalam spesifikasi ini). Nilai Ukuran Pori-pori Geotekstil (AOS) menunjukkan nilai gulungan rata-rata maksimum.

Tabel 7 memberikan sifat-sifat kekuatan untuk tiga kelas geotekstil. Geotekstil harus sesuai dengan nilai yang tercantum pada Tabel 7 berdasarkan kelas geotekstil yang tercantum pada, Tabel 9, Tabel 11 atau Tabel 12 sesuai dengan penggunaannya.

Seluruh nilai pada Tabel 7 menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum (Minimum *Average Roll Value, MARV*) pada arah utama terlemah. Sifat-sifat geotekstil yang dibutuhkan untuk setiap kelas bergantung pada elongasi geotekstil. Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*), maka kuat sambungan yang ditentukan berdasarkan ASTM D 4632 atau RSNI M-01-2005 harus sama atau lebih dari 90% kuat grab (*grab strength*) yang disyaratkan.

Tabel 7. Persyaratan Kekuatan Geotekstil

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas Geotekstil [a, b]					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]
Kuat Grab (*Grab Strength)*	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1400	900	1100	700	800	500
Kuat Sambungan Keliman [d] (*Sewn Seam Strenght*)	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1260	810	990	630	720	450
Kuat Sobek (*Tear Strength*)	ASTM D 4533 ISO 13937-2000 SNI 08-4644-1998	N	500	350	400[e]	250	300	180
Kuat Tusuk (*Puncture Strength*)	ASTM D 6241 ISO 12236:2006	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permitivitas (*Permittivity*)	ASTM D 4491 ISO 11058:1999 SNI 08-6511-2001	$detik^{-1}$	Nilai sifat minimum untuk Permitivitas, Ukuran Pori-pori Geosintetik (*Apparent Opening Size, AOS*), dan Stabilitas Ultraviolet ditentukan berdasarkan aplikasi geosintetik. Lihat Tabel 8 dan Tabel 9 untuk separator; sedangkan untuk stabilisator, lihat Tabel 8 dan Tabel 10.					
Ukuran Pori-pori Geotekstil[c, d] (*Apparent Opening Size, AOS*)	ASTM D 4751 ISO 12956:1999 SNI 08-4418-1997	mm						
Stabilitas Ultraviolet (kekuatan	ASTM D 4355	%						

Catatan:

[a] Kelas geotekstil yang dibutuhkan mengacu pada Tabel 8, Tabel 9, atau Tabel 10 sesuai dengan penggunaannya. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

[b] Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum dalam arah utama terlemah.

[c] Ditentukan berdasarkan ASTM D 4632 atau RSNI M-01-2005.

[d] Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

[e] Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan untuk geotekstil filamen tunggal teranyam (*woven monofilamen geotextile*) adalah 250 N.

Tabel 9. Syarat Derajat Daya Bertahan (*survivability*)

Kondisi Tanah Dasar	Alat dengan Tekanan Permukaan Rendah (*Low Ground Pressure*) ≤ 25 kPa (3.6 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Sedang (*Medium Ground Pressure*) 25 kPa – 50 kPa (3.6 psi –7.3 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Tinggi (*High Ground Pressure*) > 50 kPa (> 7.3 psi)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan kecuali rumput, kayu, daun dan sisa ranting kayu. Permukaan halus dan rata sehingga lubang/gundukan tidak lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup. Alternatif lain, lantai kerja dapat digunakan.	Rendah (Kelas 3)	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan yang lebih besar dari cabang kayu dan batu yang berukuran kecil sampai sedang. Batang dan pangkal/akar pohon harus dipindahkan atau ditutup sebagian dengan lantai kerja. Lubang/gundukan tidak boleh lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup.	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)

Tabel 8. Syarat Derajat Daya Bertahan (*survivability*) - lanjutan

Kondisi Tanah Dasar	Alat dengan Tekanan Permukaan Rendah (*Low Ground Pressure*) ≤ 25 kPa (3.6 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Sedang (*Medium Ground Pressure*) 25 kPa – 50 kPa (3.6 psi –7.3 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Tinggi (*High Ground Pressure*) > 50 kPa (> 7.3 psi)
Diperlukan persiapan lokasi secara minimal. Pohon dapat ditumbangkan, dipotong-potong dan ditinggalkan di tempat. Pangkal/akar pohon harus dipotong dan tidak boleh lebih dari 150 mm diatas tanah dasar. Geotekstil dapat dipasang langsung diatas cabang pohon, pangkal/akar pohon, lubang besar dan tonjolan, saluran dan bolder. Ranting, pangkal/akar, lubang besar dan tonjolan, alur air dan bongkah batu. Benda-benda harus dipindahkan hanya jika penempatan geotekstil dan bahan penutup akan berpengaruh terhadap permukaan akhir jalan.	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)	Tidak Direkomendasikan

Catatan:

Syarat derajat daya bertahan (*survivability*) merupakan fungsi dari kondisi tanah dasar, peralatan konstruksi dan tebal penghamparan. Sifat-sifat geotekstil Kelas 1, 2 and 3 ditunjukkan pada Tabel 7; Kelas 1+ sifat-sifatnya lebih tinggi dari Kelas 1, tetapi belum terdefinisikan sampai saat ini dan jika digunakan harus disyaratkan oleh Pengguna Jasa.

Rekomendasi tersebut adalah untuk tebal penghamparan awal antara 150 - 300 mm. Untuk tebal penghamparan awal lainnya:

- 300 - 450 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar satu tingkat
- 450 - 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar dua tingkat
- 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar tiga tingkat

Untuk teknik konstruksi khusus, seperti pembuatan alur awal (*prerutting*), tingkatkan syarat daya bertahan geotekstil sebesar satu tingkat. Penghamparan awal bahan penutup yang terlalu tebal dapat menyebabkan keruntuhan daya dukung tanah dasar yang lunak.

5.3. Geotekstil sebagai Separator

Spesifikasi ini sesuai untuk geotekstil yang berfungsi untuk mencegah terjadinya pencampuran antara tanah dasar dengan agregat penutupnya (lapis pondasi bawah, lapis pondasi, timbunan pilihan dan sebagainya). Spesifikasi ini juga dapat digunakan untuk kondisi selain di bawah perkerasan jalan dimana diperlukan pemisahan antara dua bahan yang berbeda tetapi dengan ketentuan bahwa penanganan rembesan air (*seepage*) melalui geotekstil bukan merupakan fungsi yang utama.

Fungsi geotekstil sebagai pemisah (*separator*) sesuai untuk struktur perkerasan yang dibangun di atas tanah dengan nilai California Bearing Ratio sama atau lebih dari 3 (CBR ≥ 3) atau kuat geser lebih dari sekitar 90 kPa.

5.3.1. Persyaratan Geotekstil sebagai Separator

Fungsi geotekstil sebagai pemisah (*separator*) sesuai untuk struktur perkerasan yang dibangun di atas tanah dengan nilai California Bearing Ratio sama atau lebih dari 3 (CBR ≥ 3) atau kuat geser lebih dari sekitar 90 kPa. Aplikasi separator sesuai untuk kondisi tanah dasar yang tak jenuh.

Geotekstil untuk separator harus memenuhi syarat yang tercantum pada Tabel 11. Seluruh nilai Tabel 11, kecuali Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*), menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum pada arah utama terlemah. Nilai Ukuran Pori-pori Geotekstil menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Maksimum.

Nilai-nilai dalam Tabel 11 merupakan nilai-nilai baku (*default*) yang memberikan daya bertahan geotekstil pada berbagai kondisi. Perencana dapat juga membuat persyaratan yang berbeda dengan yang

tercantum dalam Tabel 11 berdasarkan perencanaan dan pengalaman teknis.

Tabel 11. Persyaratan Geotekstil Separator

Sifat	Metode Uji	Satuan	Persyaratan
Kelas Geotekstil	Lihat Tabel 9		
Permitivitas (*Permittivity*)	ASTM D 4491 ISO 11058:1999 SNI 08-6511-2001	det^{-1}	0,02[(a)]
Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*)	ASTM D 4751 ISO 12956:1999 SNI 08-4418-1997	mm	0,60 (nilai gulungan rata-rata maksimum)
Stabilitas Ultraviolet (kekuatan sisa)	ASTM D 4355	%	50% setelah terpapar 500 jam

Catatan:

(a) Nilai baku (*default*). Permitivitas geotekstil harus lebih besar dari tanah ($\psi_g > \psi_s$). Perencana juga dapat mensyaratkan permeabilitas geotekstil lebih besar dari permeabilitas tanah ($k_g > k_s$).

5.4. Geotekstil sebagai Stabilisator

Spesifikasi ini dapat digunakan untuk aplikasi geotekstil pada kondisi basah dan jenuh air yang berfungsi ganda yaitu sebagai pemisah dan penyaring atau filter. Dalam beberapa kasus, geotekstil dapat juga berfungsi sebagai perkuatan. Fungsi geotekstil untuk stabilisasi sesuai untuk struktur perkerasan yang dibangun di atas tanah dengan nilai California Bearing Ratio antara 1 dan 3 (1 < CBR < 3) atau kuat geser antara 30 kPa dan 90 kPa.

Aplikasi geotekstil untuk stabilisasi sesuai untuk tanah dasar yang jenuh air akibat muka air tanah tinggi atau akibat musim hujan dalam waktu lama. Spesifikasi ini tidak sesuai untuk perkuatan timbunan dimana

kondisi tegangan dapat mengakibatkan keruntuhan global tanah dasar pondasi. Perkuatan timbunan merupakan masalah perencanaan yang khusus untuk suatu lokasi.

5.4.1. Persyaratan Geotekstil sebagai Stabilitator

Geotekstil untuk stabilisator harus memenuhi syarat yang tercantum pada Tabel 12. Seluruh nilai pada Tabel 12, kecuali Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*), menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum pada arah utama terlemah. Nilai Ukuran Pori-pori Geotekstil menunjukkan nilai gulungan rata-rata maksimum.

Nilai-nilai dalam Tabel 12 merupakan nilai-nilai baku (default) yang memberikan daya bertahan geotekstil pada berbagai kondisi. Catatan (a) pada Tabel 12 memberikan suatu pengurangan terhadap persyaratan sifat minimum ketika tersedia informasi mengenai daya bertahan geotekstil. Perekayasa dapat juga membuat persyaratan yang berbeda dengan yang tercantum dalam Tabel 12 berdasarkan perencanaan teknis dan pengalaman.

Tabel 12. Persyaratan Geotekstil untuk Stabilisasi

Sifat	Metode Uji	Satuan	Persyaratan
Kelas Geotekstil	Kelas 1 dari **Error! Reference source not found.**[a]		
Permitivitas (*Permittivity*)	ASTM D 4491 ISO 11058:1999 SNI 08-6511-2001	det^{-1}	0,05[b]
Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*)	ASTM D 4751 ISO 12956:1999 SNI 08-4418-1997	mm	0,43 (nilai gulungan rata-rata maksimum)
Stabilitas Ultraviolet (kekuatan sisa)	ASTM D 4355	%	50% setelah terpapar 500 jam

Catatan:

[a] Kelas 1 merupakan pilihan baku (*default*) geotekstil untuk stabilisasi. Kelas 2 atau Kelas 3 dari Tabel 7 dapat digunakan untuk stabilisasi berdasarkan satu atau beberapa alasan berikut:

1. Perekayasa telah membuktikan Kelas 2 atau 3 mempunyai daya bertahan yang cukup berdasarkan pengalaman lapangan.
2. Perekayasa telah membuktikan bahwa Kelas 2 atau 3 mempunyai daya bertahan yang cukup berdasarkan pengujian laboratorium dan pengamatan visual terhadap suatu benda uji yang diambil dari suatu uji coba lapangan yang dibangun sesuai dengan kondisi lapangan yang akan terjadi.

[b] Nilai baku (*default*). Permitivitas geotekstil harus lebih besar dari tanah ($\psi_g > \psi_s$). Perekayasa juga dapat mensyaratkan permeabilitas geotekstil lebih besar dari permeabilitas tanah ($k_g > k_s$).

Daftar Pustaka

DPU. 2009. Spesifikasi Geotekstil Filter untuk Drainase Bawah Permukaan, Separator dan Stabilisator. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

Holtz, R.D., Christopher, B.R., Berg, R.R,. 1998. Geosynthetic Design and Construction Guidelines, Report No. FHWA HI-95-038. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., USA, April 1998.

Koerner, Robert M. 2005. Designing with Geosynthetic, 5th Edition. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. Fundamentals of Geosynthetic Engineering. Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Shukla, S.K. 2002. Geosynthetic and their Applications. Thomas Telford, London

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.

Terima kasih juga diucapkan pada Prof. Dr. Georg Heerten, German Geotechnical Society atas ijinnya untuk menggunakan gambar dan foto dari bahan ajarnya di Aachen University, Jerman dalam modul ini.

Modul Pelatihan Geosintetik

VOLUME 6.
PERENCANAAN GEOTEKSTIL FILTER UNTUK DRAINASE BAWAH PERMUKAAN

Direktorat Bina Teknik
Direktorat Jenderal Bina Marga
Kementerian Pekerjaan Umum

Kata Pengantar

Modul Pelatihan Geosintetik ditujukan bagi Peserta Pelatihan untuk membantu memahami Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik serta pedoman dan spesifikasi geosintetik untuk penyaring (filter), separator dan stabilisator.

Modul Pelatihan Geosintetik terdiri dari enam volume yang mencakup topik klasifikasi dan fungsi geosintetik; perkuatan timbunan di atas tanah lunak; perkuatan lereng; dinding tanah yang distabilisasi secara mekanis; geotekstil separator dan stabilisator; dan geotekstil penyaring (filter).

Modul Volume 6 ini berisi mengenai definisi penyaring (filter), aplikasi, perencanaan, spesifikasi, dan prosedur pelaksanaan.

Peserta Pelatihan disarankan untuk menelaah tujuan pelatihan ini, termasuk tujuan instruksional umum maupun tujuan instruksional khusus agar dapat memahami modul ini secara efektif.

Tujuan

Tujuan pelatihan ini adalah agar peserta mampu memahami fungsi, aplikasi, perencanaan, spesifikasi dan prosedur pelaksanaan penyaring (filter) geotekstil.

Tujuan Instruksional Umum

Peserta diharapkan mampu memahami perencanaan, spesifikasi, dan prosedur pelaksanaan penyaring (filter) sehingga geotekstil dapat berfungsi dengan yang direncanakan.

Tujuan Instruksional Khusus

Pada akhir pelatihan, peserta diharapkan mampu:

- Memahami pengertian fungsi geotekstil sebagai penyaring dan aplikasinya.
- Memahami metodologi desain berdasarkan fungsi dan spesifikasi.
- Menentukan jenis geosintetik yang sesuai untuk aplikasi pada kondisi lapangan.

Daftar Isi

1. Geotekstil sebagai Penyaring (filter) 1
   1.1. Umum 1
   1.2. Penggunaan 2
   1.3. Sifat-sifat Getekstil 6
2. Desain Berdasarkan Fungsi 7
   2.1. Metodologi Perencanaan 7
   2.2. Kriteria Desain Berdasarkan Fungsi 7
      2.2.1. Kriteria Retensi 10
         2.2.1.1. Kondisi Aliran Tenang (*Steady State*) 10
         2.2.1.2. Kondisi Aliran Dinamis 12
         2.2.1.3. Tanah Stabil versus Tanah Tidak Stabil 13
      2.2.2. Kriteria Permeabilitas/Permitivitas 13
      2.2.3. Daya Tahan Terhadap Penyumbatan 15
         2.2.3.1. Kondisi Kurang Kritis/Kurang Kompleks 15
         2.2.3.2. Kondisi Kritis 16
      2.2.4. Kriteria Daya Bertahan dan Kinerja Geotekstil 16
   2.3. Tahapan Perencanaan 19
   2.4. Contoh Perencanaan 26
3. Desain Berdasarkan Spesifikasi 33
   3.1. Persyaratan Geotekstil 33
   3.2. Pengendalian Mutu 40
   3.3. Pelaksanaan 40

3.3.1. Umum.....40
3.3.2. Penyambungan 41
3.4. Contoh Soal 43
4. Panduan Pemasangan Geosintetik.....44
4.1. Panduan Umum.....44
4.2. Panduan Khusus 44

Daftar Gambar

Gambar 1 Deskripsi tanah berdasarkan grafik distribusi ukuran butir 6
Gambar 2 Formasi “Jembatan Penyaring” 8
Gambar 3 Ilustrasi penyumbatan dan *blinding* (buntu) (John, 1987) 9
Gambar 4 Bagan Alir Perencanaan Penyaring (filter).... 19
Gambar 5 Gradasi tipikal dan permeabilitas Darcy dari beberapa agregat dan material penyaring (filter) bergradasi (U.S. Navy, 1982) 22
Gambar 6. Bagan Alir Pemilihan Geotekstil Penyaring (filter) untuk Drainase Bawah Permukaan 35
Gambar 7.Geotekstil Potongan Film Teranyam 39
Gambar 8 Prosedur pelaksanaan untuk penyalir-bawah yang menggunakan lapis geotekstil 47

Daftar Tabel

Tabel 1 Pengunaan geotekstil sebagai penyaring (filter) pada jalan raya 3
Tabel 2 Pedoman Evaluasi Kondisi Kritis dan Kompleksitas Penggunaan Drainase serta Pengendalian Erosi (berdasarkan Carroll, 1983) 5
Tabel 3 Persyaratan Kekuatan Geotekstil untuk Geotekstil Drainase (berdasarkan AASHTO, 1997) 18
Tabel 4. Syarat Derajat Daya Bertahan (*survivability*) ... 36
Tabel 5.Persyaratan Kekuatan Geotekstil 37
Tabel 6.Persyaratan Geotekstil untuk Drainase Bawah Permukaan 38

1 Geotekstil sebagai Penyaring (filter)

Penyaring (filter) adalah bahan geosintetik yang digunakan untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase dengan arah aliran tegak lurus bidang geosintetik..

1.1. Umum

Geotekstil sudah banyak digunakan sebagai penyaring (filter) dalam sistem penyalir pada parit dan penyalir penangkap, selubung penyalir, saluran pada tepi perkerasan, penyalir (drainase) pada struktur, dan sebagai lapisan dasar yang permeabel (lolos air) di bawah fondasi jalan. Penyaring (filter) menahan pergerakan partikel tanah akibat aliran air menuju ke struktur penyalir dan akibat air yang tersimpan dan atau tertranspotasi ke bawah. Sebagai material yang dapat digunakan sebagai pengganti penyaring (filter) butiran maka geotekstil harus menunjukkan fungsi yang sama dengan penyaring (filter) butiran.

Penyaring (filter) yang umum digunakan untuk pekerjaan sistem penyalir adalah penyaring (filter) butiran. Namun, geotekstil dapat digunakan sebagai pengganti penyaring (filter) butiran di hampir semua pekerjaan sistem drainase. Hal ini disebabkan geotekstil merupakan bahan dengan kinerja yang setara dengan penyaring (filter) butiran, mempunyai sifat yang konsisten, dan mudah pemasangannya. Keuntungan secara ekonomi dengan penggunaan geotekstil dibanding penggunaan material penyaring (filter) butiran, yaitu dari:

- penggunaan agregat batuan drainase yang lebih sedikit;

- kemungkinan penggunaan penyalir dengan ukuran yang lebih kecil;
- kemungkinan peniadaan pipa-pipa pengumpul;
- konstruksi yang lebih praktis;

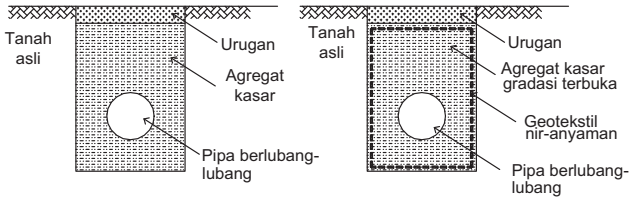
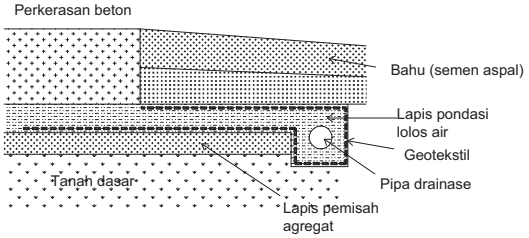
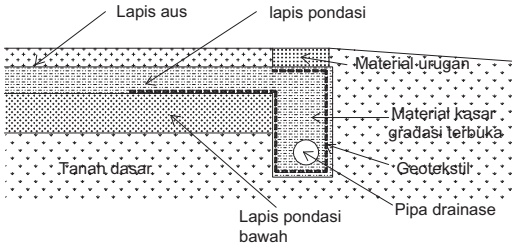
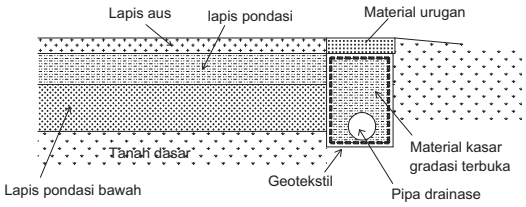
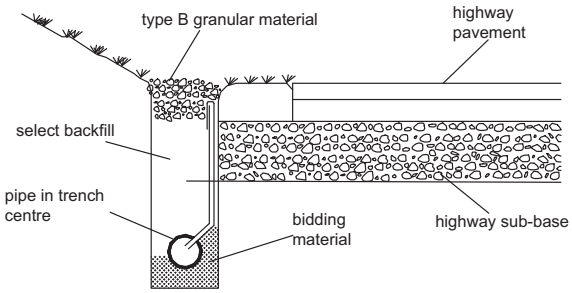
Harus dipahami bahwa geotekstil tidak dapat menggantikan fungsi penyaring (filter) butiran seluruhnya. Penyaring (filter) butiran memiliki fungsi lain terkait degan ketebalan dan beratnya. Penyaring (filter) butiran seringkali dibutuhkan untuk mengurangi beban hidrolik hingga mencapai tingkat yang dapat diterima pada permukaan antara (interface) tanah, setelahnya geotekstil dapat digunakan untuk memenuhi fungsi penyaringan.

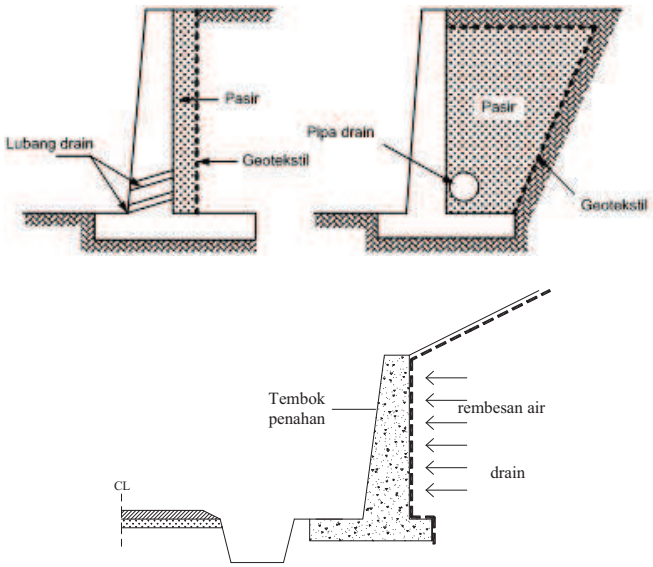
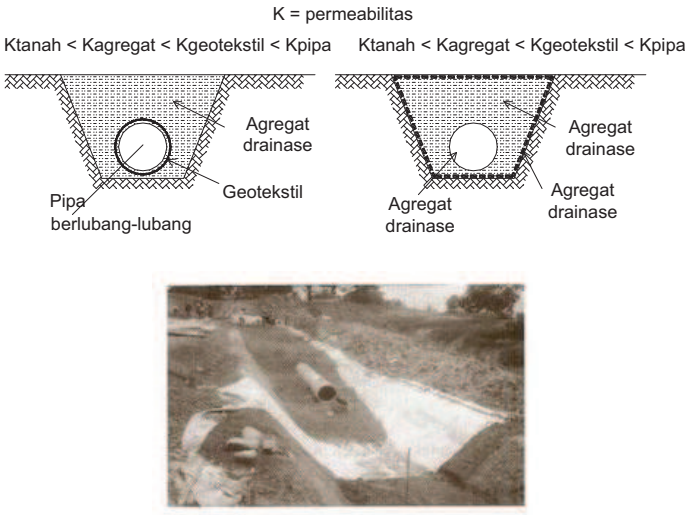
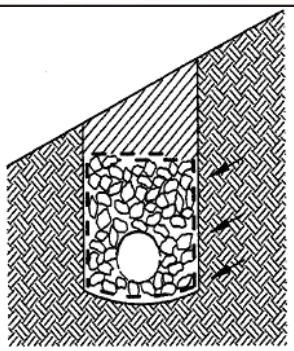
Geotekstil sebagai penyaring (filter) membutuhkan perencanaan teknis yang sesuai. Jika persyaratan mengenai aliran, daya tahan terhadap *piping*, daya tahan terhadap penyumbatan, dan persyaratan pelaksanaan tidak rencanakan dengan baik, maka geotekstil tidak akan berfungsi dengan baik. Selain itu, proses pemasangan harus dimonitor untuk memastikan bahwa material tersebut terpasang dengan tepat.

1.2. Penggunaan

Tabel 1 menunjukkan beberapa contoh penggunaan geotekstil sebagai penyaring (filter) pada drainase bawah permukaan. Dalam setiap penggunaan geotekstil sebagai penyaring (filter) seperti pada Tabel 1, air mengalir secara tegak lurus terhadap bidang geotekstil.

Tabel 1 Pengunaan geotekstil sebagai penyaring (filter) pada jalan raya

Penggunaan	Ilustrasi
• Sebagai filter di sekeliling saluran parit dan saluran samping – untuk mencegah perpindahan tanah ke dalam agregat atau sistem drainase, dan tetap mengalirkan air ke dalam sistem drainase.	 Filter konvensional Filter geotekstil (sumber: Hardiatmo, 2008)
• Sebagai filter pada fondasi jalan yang lolos air (permeabel) di bawah perkerasan jalan, lapisan drainase dan lapisan fondasi perkerasan. Penyalir geokomposit prafabrikasi (*prefabricated geocomposite drains*) dan parit yang diselubungi geotekstil, digunakan pada konstruksi saluran tepi perkerasan.	 Drainase bawah padu perkerasan kaku  Drainase bahaw pada perkerasan lentur (alt. 1)  Drainase bahaw pada perkerasan lentur (alt. 2) (sumber: Hardiatmo, 2008) 

• Saluran untuk struktur-struktur seperti dinding penahan dan abutmen jembatan. Saluran ini memisahkan agregat atau sistem drainase dari tanah urugan, sambil tetap mengalirkan air baik di permukaan maupun air resapan. Saluran geokomposit sangat cocok untuk penggunaan ini.	
• Geotekstil membungkus sambungan pipa drainase dan pipa-pipa sumur untuk mencegah agregat filter supaya tidak masuk ke dalam pipa, sementara aliran air bisa dengan bebas masuk ke dalam pipa.	
• Saluran penangkap (interceptor), saluran kaki (toe drain), dan saluran permukaan (surface drain)– untuk mendukung stabilisasi lereng dengan membiarkan tekanan pori yang ada di dalam lereng berdisipasi, dan dengan mencegah erosi permukaan. Geokomposit sekali lagi cocok digunakan dalam aplikasi ini.	

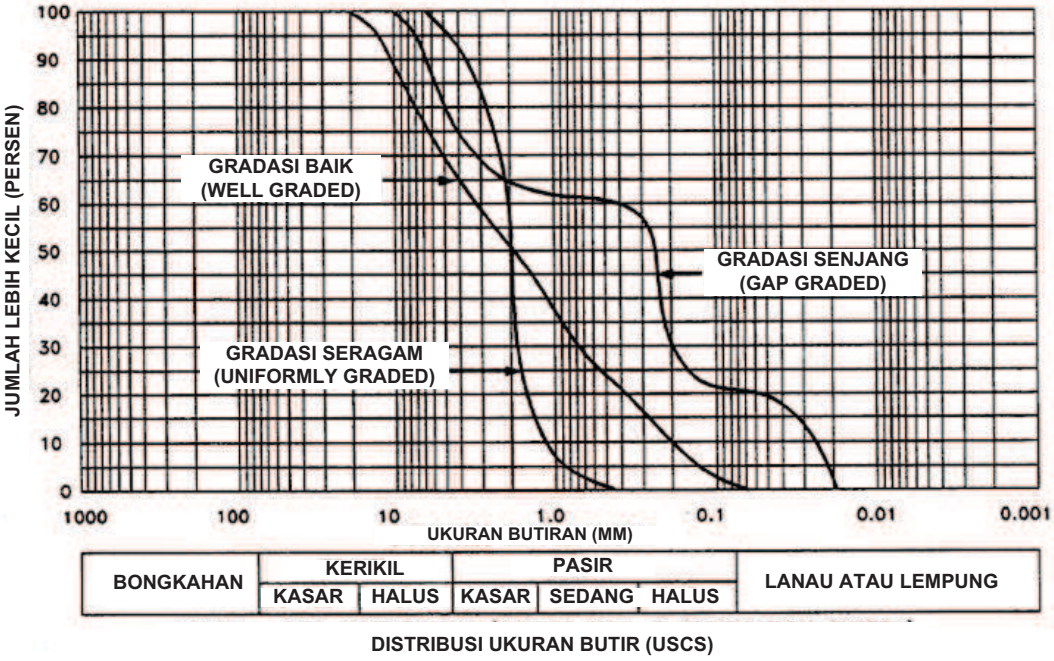
Perencanaan geosintetik untuk penggunaan sebagai penyaring dan atau penyalir harus dimulai dengan penilaian mengenai kondisi kritis proyek yang bersangkutan (lihat **Error! Reference source not found.**).

Tabel 2 Pedoman Evaluasi Kondisi Kritis dan Kompleksitas Penggunaan Drainase serta Pengendalian Erosi (berdasarkan Carroll, 1983)

A. Kondisi Kritis Proyek		
Uraian	Kritis	Kurang Kritis
1. Risiko hilangnya nyawa dan/atau kerusakan struktural karena runtuhnya saluran:	Tinggi	Tidak Ada
2. Biaya perbaikan terhadap biaya pemasangan saluran:	Sangat tinggi	sama atau lebih kecil
3. Tanda-tanda adanya penyumbatan pada saluran sebelum terjadinya runtuhan yang berpotensi menimbulkan bencana besar:	Tidak Ada	Ada
B. Kondisi Kompleksitas Proyek		
Uraian	Kompleks	Kurang Kompleks
1. Jenis tanah yang akan disalirkan:	Gradasi-senjang, *pipable*, atau *dispersible*	Gradasi-baik atau gradasi-seragam
2. Gradien hidrolik:	Tinggi	Rendah
3. Kondisi aliran:	Kondisi tidak konstan (dinamik, siklik, atau bergelombang *pulsating*)	Kondisi konstan (*steady state*)

Sedikit penjelasan mengenai kondisi tanah yang akan disalirkan (**Error! Reference source not found.**) diuraikan sebagai berikut. Pertama, tanah dengan gradasi senjang, gradasi baik dan gradasi seragam diilustrasikan dalam **Error! Reference source not found.**. Tanah bergradasi senjang tertentu dan tanah bergradasi secara umum, dapat tidak stabil secara internal yaitu tanah jenis ini dapat mengalami *piping* atau erosi internal. Sedangkan, suatu tanah disebut stabil secara internal apabila tanah tersebut dapat melakukan fungsi penyaringan sendiri dan jika partikel-partikel halusnya tidak berpindah melalui rongga-rongga dari fraksi kasarnya (LaFluer, et al., 1993). Kriteria untuk

menentukan apakah suatu tanah stabil secara internal akan diberikan pada bab berikutnya.



Gambar 1 Deskripsi tanah berdasarkan grafik distribusi ukuran butir

1.3. Sifat-sifat Getekstil

Penjelasan mengenai sifat-sifat geosintetik yang terkait dengan fungsi geotekstil sebagai filter dan konsep dasar mengenai cara memperolehnya dengan pengujian laboratorium dapat dilihat pada buku modul Volume 1, Bab 4.

2 Desain Berdasarkan Fungsi

2.1. Metodologi Perencanaan

Perencanaan teknis struktur yang menggabungkan geosintetik dimaksudkan untuk menjamin kekuatan, stabilitas, dan layanan selama jangka waktu yang direncanakan. Terdapat empat metode perencanaan utama untuk struktur atau sistem yang berhubungan dengan geosintetik, yaitu:

1. Desain berdasarkan pengalaman (design-by-experience)
2. Desain berdasarkan harga geosintetik dan alokasi dana
3. Desain berdasarkan speksifikasi
4. Desain berdasarkan fungsi

Penjelasan lebih rinci mengenai keempat metodologi perencanaan tersebut diatas dapat dilihat pada buku modul Volume 5, Bab 2.

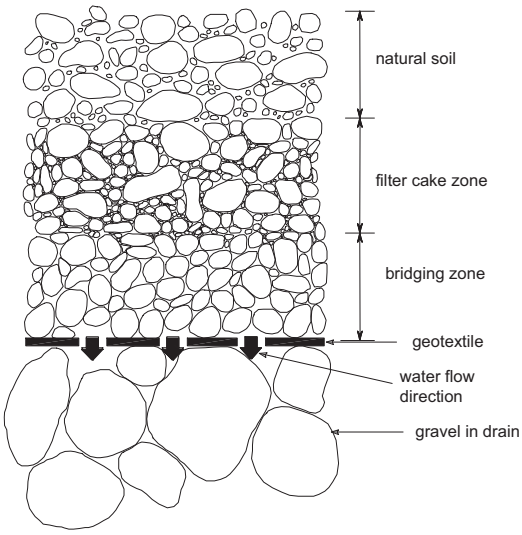
Pada bab 2 ini, akan dijabarkan setiap tahapan dalam perencanaan berdasarkan metodologi pada item 3 dan 4, yaitu desain berdasarkan speksifikasi dan desain berdasarkan berdasarkan fungsi.

2.2. Kriteria Desain Berdasarkan Fungsi

Perencanaan geotekstil untuk filtrasi pada dasarnya sama dengan perencanaan pada penyaring (filter) butiran. Geotekstil mirip dengan

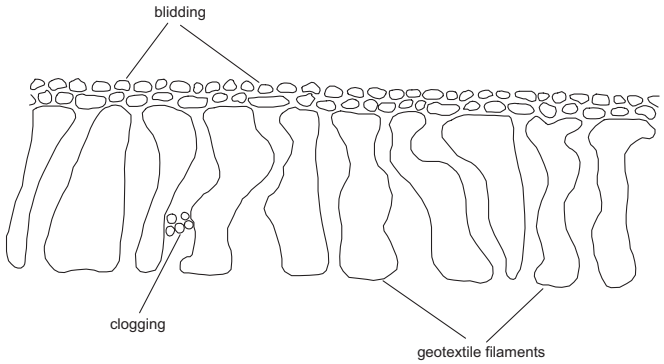
tanah karena memiliki rongga (pori-pori) dan partikel (filamen atau serat menerus, dan serat). Namun, karena bentuk dan susunan filamen serta kompresibilitas strukturnya, hubungan geometri antara filamen dan rongga pada geotekstil lebih kompleks daripada tanah. Dalam geotekstil, ukuran pori diukur langsung, tidak seperti yang dilakukan pada tanah yang diukur dengan menggunakan ukuran partikel sebagai perkiraan ukuran pori. Karena ukuran pori dapat diukur langsung, hubungan yang relatif sederhana antara ukuran pori dan ukuran partikel tanah yang tertahan, dapat dikembangkan. Tiga konsep filtrasi sederhana yang digunakan dalam proses perencanaan:

1. Jika ukuran pori terbesar dari penyaring (filter) geotekstil lebih kecil dari ukuran terbesar partikel tanah, maka tanah akan dapat tertahan oleh penyaring (filter). Seperti pada penyaring (filter) butiran, partikel tanah yang lebih besar akan membentuk "jembatan" disekitar lubang pori, sehingga penyaring (filter) dapat menyaring partikel tanah yang ukurannya lebih kecil (Gambar 2).



Gambar 2 Formasi "Jembatan Penyaring"

2. Jika lubang bukaan terkecil geotekstil cukup besar untuk dilewati partikel tanah yang lebih kecil, maka geotekstil tidak akan *blind* dan tersumbat (lihat Gambar 3).



Gambar 3 Ilustrasi penyumbatan dan *blinding* (buntu) (John, 1987)

3. Lubang bukaan dalam geotekstil harus banyak sehingga aliran yang cukup dapat dipertahankan, walaupun beberapa lubang bukaan mungkin tertutup.

Berikut ini adalah beberapa konsep dan analogi sederhana perencanaan penyaring (filter) tanah yang digunakan untuk menentukan kriteria perencanaan penyaring (filter) geotekstil. Secara spesifik, terdapat beberapa kirteria untuk perencanaan penyaring (filter) dari geotekstil, yaitu

1. geotekstil harus mampu menahan tanah (soil retention criterion/kriteria tahanan tanah)
2. air harus bebas mengalir, (permeability criterion/ kriteria permeabilitas)
3. usia strukutur (kriteria tahan sumbatan/clogging resistance criterion), yaitu selama masa layan struktur lubang bukaan geotekstil harus tidak tersumbat.

Agar dapat bekerja secara efektif, geotekstil juga harus bertahan selama proses pemasangan (survavibility criterion).

Untuk tanah berbutir, kinerja penyaring (filter) akan sangat baik apabila tanah berbutir yang lolos saringan ukuran 0,075 mm adalah < 50%.

2.2.1. Kriteria Retensi

Kondisi aliran air berpengaruh terhadap fungsi penyaring (filter) geotekstil. Berikut ini dijelaskan dua tipe aliran yang mempengaruhi fungsi penyaring (filter) geotekstil yaitu aliran tenang dan aliran dinamis.

2.2.1.1. Kondisi Aliran Tenang (*Steady State*)

$$\text{AOS atau } O_{95\ (\text{geotekstil})} \leq B\ D_{85\ (\text{tanah})} \qquad [1]$$

di mana:

AOS = *Apparent Opening Size*, ukuran bukaan pori (mm);
O_{95} = ukuran bukaan geotekstil di mana 95% lebih kecil (mm);
AOS ≈ O_{95};
B = koefisien (tanpa dimensi); dan
D_{85} = ukuran partikel tanah di mana 85% lebih kecil (mm).

Koefisien B berkisar antara 0,5 hingga 2 dan merupakan fungsi dari jenis tanah yang akan melalui penyaring (filter), kepadatannya, koefisien keseragaman C_u apabila jenis tanahnya berbutir, jenis geotekstil (teranyam atau tak-teranyam), dan kondisi aliran.

untuk tanah yang berbutir kasar

Untuk pasir, pasir kerikilan, pasir lanauan, dan pasir lempungan (dengan kurang dari 50% lolos saringan ukuran 0,075 mm menurut Unified Soil Classification System, USCS), B adalah fungsi dari koefisien keseragaman, C_u. Oleh karena itu, untuk

Nilai C_u	Nilai B	
$C_u \leq 2$ atau ≥ 8	$B = 1$	[2a]
$2 \leq C_u \leq 4$	$B = 0.5\ C_u$	[2b]
$4 < C_u < 8$	$B = 8/C_u$	[2c]

dimana:

C_u = D_{60}/D_{10}.

Tanah berpasir yang tidak seragam (Gambar 2) cenderung mudah untuk mengalami *bridging* di sekitar lubang bukaan pori; sehingga pori-pori yang terbesar dapat berukuran hingga lebih dari dua kali ($B \leq 2$) ukuran partikel tanah terbesar karena dua partikel tidak dapat melewati lubang yang sama pada saat yang bersamaan. Oleh karena itu, penggunaan kriteria B=1 akan cukup konservatif untuk retensi (sebagai penahan), dan kriteria seperti itu telah digunakan oleh, misalnya, the Corps of Engineers.

Apabila tanah yang dilindungi mengandung partikel-partikel halus, gunakan hanya bagian yang lolos saringan ukuran 4,75 mm untuk memilih geotekstil yang sesuai. Singkirkan material yang berukuran lebih dari 4,75 mm seperti kerikil dan bongkahan.

Untuk tanah berbutir halus

Untuk lanau dan lempung (dengan lebih dari 50% lolos saringan ukuran 0,075 mm), B adalah fungsi dari jenis geotekstil:

untuk geotekstil teranyam, $B = 1; \quad O_{95} \leq D_{85}$ [3]

untuk geotekstil tak-teranyam, $B=1,8; \quad O_{95} \leq 1,8 D_{85}$ [4]

dan untuk keduanya, AOS atau $O_{95} \leq 0,3$ mm [5]

Karena karakteristik porinya yang acak dan, pada beberapa jenis, sifat tekstilnya (kainnya), geotekstil jenis tak-teranyam pada umumnya akan menahan partikel yang lebih halus daripada geotekstil jenis teranyam dengan nilai AOS yang sama. Oleh karena itu, penggunaan B=1 lebih konservatif untuk geotekstil jenis tak-teranyam.

Dengan ketiadaan detail perencanaan, AASHTO M 288 *Standard Specification for Geotextile* menyediakan nilai AOS maksimum berikut dalam hubungannya dengan persentase tanah yang lolos saringan ukuran 0,075 mm: (i) 0,43 mm untuk yang lolos kurang dari 15%; (ii)

0,25 mm untuk yang lolos antara 15% hingga 50%; dan (iii) 0,22 mm untuk yang lolos lebih dari 50%. Namun demikian, untuk tanah-tanah kohesif dengan nilai indeks plastisitas lebih dari 7, ukuran AOS maksimum adalah 0,30 mm. Nilai baku AOS ini didasarkan pada ukuran partikel tanah predominan di lapangan.

Perencana mungkin membutuhkan pengujian kinerja berdasarkan perencanaan teknis untuk sistem drainase pada lingkungan tanah problematik. Pengujian yang spesifik pada tanah problematik harus dilakukan terutama jika menghadapi satu atau lebih kondisi lingkungan tanah problematik yaitu tanah yang tidak stabil atau rawan longsor seperti lanau nonkohesif; tanah-tanah dengan gradasi senjang; tanah-tanah berlapis dengan selang-seling pasir/lanau; lempung dispersif.

2.2.1.2. Kondisi Aliran Dinamis

Jika geotekstil tidak terpasang dengan baik dan tidak mengalami kontak yang baik dengan permukaan tanah yang dilindunginya atau jika kondisi pembebanan dinamik, siklik, atau gelombang menghasilkan gradien hidrolik lokal yang tinggi, maka partikel-partikel tanah dapat bergerak ke bagian belakang geotekstil. Oleh karena itu penggunaan B=1 menjadi tidak konservatif, karena jaringan jembatan (*bridging network)* tidak akan terbentuk dan geotekstil akan diperlukan untuk menahan partikel-partikel yang lebih halus. Jika retensi (penahanan) merupakan kriteria utama, nilai B harus dikurangi hingga 0,5; atau:

$$O_{95} \leq 0{,}5D_{85} \qquad [6]$$

Kondisi aliran dinamik dapat terjadi pada penggunaan drainase perkerasan. Untuk membalik aliran yang masuk-keluar atau keadaan gradien-tinggi, hal terbaik yang dapat dilakukan adalah mempertahankan beban yang sesuai pada penyaring (filter) untuk mencegah pergerakan atau perpindahan partikel. Kondisi aliran dinamik dengan sistem pengendalian erosi tidak termasuk lingkup modul ini.

2.2.1.3. Tanah Stabil versus Tanah Tidak Stabil

Kriteria-kriteria retensi di atas mengasumsikan bahwa tanah yang akan disaring merupakan tanah stabil secara internal yang tidak akan mengalami *piping* secara internal. Jika ditemui kondisi tanah yang tidak stabil, pengujian kinerja harus dilakukan untuk memilih jenis geotekstil yang sesuai. Menurut Kenney dan Lau (1985, 1986) dan LaFluer, et al. (1989), secara umum tanah-tanah bergradasi (C_u > 20) dengan bentuk grafik distribusi ukuran butiran cekung ke arah atas (*concave upward*) cenderung tidak stabil secara internal.

2.2.2. Kriteria Permeabilitas/Permitivitas

Persyaratan permeabilitas:

-- untuk penggunaan yang kurang kritis dan kondisi yang kurang kompleks:

$$k_{geotekstil} \geq k_{tanah} \qquad [7a]$$

-- dan, untuk penggunaan yang kritis dan kondisi yang kompleks:

$$k_{geotekstil} \geq 10\ k_{tanah} \qquad [7b]$$

Persyaratan permitivitas:

ψ > 0,5 detik^{-1} untuk < 15% lolos 0,075 mm [8a]

ψ > 0,2 detik^{-1} untuk 15% hingga 50% lolos 0,075 mm [8b]

ψ > 0,1 detik^{-1} untuk > 50% lolos 0,075 mm [8c]

Dalam persamaan tersebut:

k = koefisien permeabilitas Darcy (m/detik); dan

ψ = permitivitas geotekstil, yang sama dengan $k_{geotekstil}/t_{geotekstil}$ (1/detik) dan merupakan fungsi dari tinggi energi hidrolik (*hydraulic head*).

Untuk kapasitas aliran sesungguhnya, kriteria permeabilitas pada penggunaan nonkritis menggunakan nilai yang konservatif, karena suatu jumlah air yang sama yang melalui geotekstil yang relatif tipis, secara

signifikan membutuhkan waktu yang lebih sedikit dibandingkan apabila melalui penyaring (filter) butiran yang tebal. Meskipun demikian, beberapa pori pada geotekstil dapat terhalang atau tersumbat seiring waktu. Oleh karena itu, untuk penggunaan kritis atau kompleks (*kompleks*), Persamaan 7b direkomendasikan untuk memberikan tambahan tingkat yang lebih konservatif. Persamaan 7a dapat digunakan di mana pengurangan aliran dianggap tidak merupakan suatu masalah, seperti pada pasir dan kerikil bersih dengan ukuran butiran sedang hingga kasar.

Spesifikasi Penyaring (filter) geotekstil untuk Drainase Bawah Permukaan, Geotekstil Separator, Geotekstil Stabilisator, Direktorat Bina Teknik, Dirjen Bina Marga (2009) yang mengacu pada AASHTO M-288-06, merekomendasikan nilai permitivitas minimum dalam hubungannya dengan persentase tanah di lapangan yang lolos saringan ukuran 0,075 mm. Nilai permitivitas tersebut sama dengan yang diberikan dalam Persamaan 8a, 8b, dan 8c di atas. Nilai-nilai permitivitas standar (*default*) didasarkan pada ukuran partikel tanah yang dominan di lapangan. Perencana mungkin membutuhkan pengujian kinerja berdasarkan perencanaan teknis (*engineering design*) untuk sistem drainase pada lingkungan tanah problematik.

Kecepatan aliran (q) yang dibutuhkan untuk melewati sistem juga harus ditentukan, dan geotekstil serta agregat drainase yang dipilih untuk memberikan kapasitas yang cukup. Seperti yang ditunjukkan di atas, kapasitas aliran harusnya tidak menjadi masalah buat kebanyakan penggunaan, apabila permeabilitas geotekstil lebih besar daripada permeabilitas tanah. Namun, dalam situasi tertentu, seperti pada saat geotekstil digunakan di *span joints* pada struktur kaku (*rigid*) dan saat geotekstil digunakan sebagai pembungkus pipa, beberapa bagian geotekstil dapat terhalang. Untuk penggunaan-penggunaan ini, kriteria berikut harus digunakan bersamaan dengan kriteria permeabilitas:

$$q_{dibutuhkan} = q_{geotekstil}(A_g/A_t) \qquad [9]$$

di mana:
A_g = luas geotekstil yang tersedia untuk aliran; dan
A_t = luas total geotekstil.
$q_{geotekstil}$ = kecepatan aliran

2.2.3. Daya Tahan Terhadap Penyumbatan

2.2.3.1. Kondisi Kurang Kritis/Kurang Kompleks

Untuk kondisi kurang kritis/kurang kompleks:

$$O_{95(geotekstil)} \geq 3\ D_{15(tanah)} \qquad [10]$$

Persamaan 10 digunakan untuk tanah dengan $C_u > 3$. Untuk $C_u \leq 3$, pilih geotekstil dengan nilai AOS maksimum dari Seksi 2.1.1.1.

Pada situasi di mana mungkin terjadi penyumbatan (misalnya, tanah yang bergradasi-senjang atau tanah lanau), pilihan pengklasifikasian berikut ini bisa digunakan:

untuk geotekstil tak-teranyam –

$$\text{porositas geotekstil, } n \geq 50\% \qquad [11]$$

untuk geotekstil monofilamen teranyam dan geotekstil teranyam potongan film –

$$\text{persentase luas bukaan, } \textit{percent open area}\text{, POA} \geq 4\% \qquad [12]$$

Geotekstil tak-teranyam umumnya memiliki porositas jauh lebih besar dari 70%. Umumnya geotekstil monofilamen teranyam memenuhi kriteria Persamaan 12; sedangkan geotekstil potongan film yang teranyam rapat tidak memenuhi kriteria Persamaan 12, dan oleh karena itu tidak direkomendasikan untuk penggunaan drainase bawah tanah.

Pengujian filtrasi memberikan pilihan lain sebagai pertimbangan, terutama oleh pengguna yang belum berpengalaman.

2.2.3.2. Kondisi Kritis

Untuk kondisi kritis, pilih geotekstil yang memenuhi kriteria retensi dan permeabilitas dalam Seksi 2.2.1 dan 2.2.2. Kemudian lakukan pengujian filtrasi menggunakan contoh uji tanah dari lokasi proyek (*on-site*) dan kondisi hidrolik. Salah satu jenis pengujian filtrasi adalah pengujian rasio gradien (ASTM D 5101).

2.2.4. Kriteria Daya Bertahan dan Kinerja Geotekstil

Untuk dapat memastikan bahwa geotekstil dapat bertahan selama proses pemasangan, sifat-sifat tertentu seperti kekuatan dan daya tahan dibutuhkan untuk penggunaan filtrasi dan drainase. Persyaratan minimum tersebut diberikan pada **Error! Reference source not found.**. Perlu dicatat bahwa nilai-nilai yang tertera pada tabel tersebut adalah nilai-nilai untuk penggunaan kurang kritis.

Penting untuk diperhatikan bahwa kirteria daya tahan minimum ini tidak berdasar pada suatu penelitian sistematis, namun berdasarkan sifat-sifat geotekstil yang telah ada yang diketahui telah menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam penggunaan drainase. Nilai-nilai tersebut dimaksudkan sebagai pedoman untuk pengguna yang belum berpengalaman dalam memilih geotekstil untuk proyek-proyek rutin. Nila-nilai tersebut bukan dimaksudkan untuk mengganti evaluasi lapangan secara spesifik, pengujian dan perencanaan.

Kriteria kinerja (endurance) geotekstil berkaitan dengan umurnya (longevity). Geotekstil pada dasarnya merupakan material yang tidak aktif/tidak mudah berubah untuk kebanyakan lingkungan dan penggunaan. Namun, penggunaan-penggunaan tertentu dapat menyebabkan geotekstil terkontaminasi oleh aktivitas kimia atau biologi yang secara drastis dapat mempengaruhi sifat-sifat filtrasi atau daya tahannya (durability). Sebagai contoh, dalam penyaliran, penyaring (filter) butiran dan geotekstil dapat tersumbat secara kimia oleh

endapan besi atau karbonat, dan secara biologi dapat tersumbat oleh ganggang, lumut, dll. Penyumbatan biologis berpotensi menimbulkan masalah apabila penyaring (filter) dan penyalir tergenang secara periodik dan terekspos udara. Penyumbatan kimia dan biologi yang berlebihan dapat mempengaruhi kinerja penyaring (filter) dan penyalir secara signifikan. Saat ini kondisi tersebut, contohnya, terdapat pada tanah timbunan (*landfills*).

Potensi penyumbatan biologis dapat diatasi menggunakan ASTM D 1987, Metode Pengujian Standar untuk Penyumbatan Biologis pada Geotekstil atau Penyaring (filter) Tanah/Geotekstil (1991). Apabila lebih ditekankan pada penyumbatan biologis, dapat digunakan geotekstil dengan porositas yang lebih tinggi, dan/atau perencanaan dan pelaksanaan penyalir dapat mencakup program peninjauan dan pemeliharaan untuk membersihkan sistem drainase.

Tabel 3 Persyaratan Kekuatan Geotekstil untuk Geotekstil Drainase (berdasarkan AASHTO, 1997)

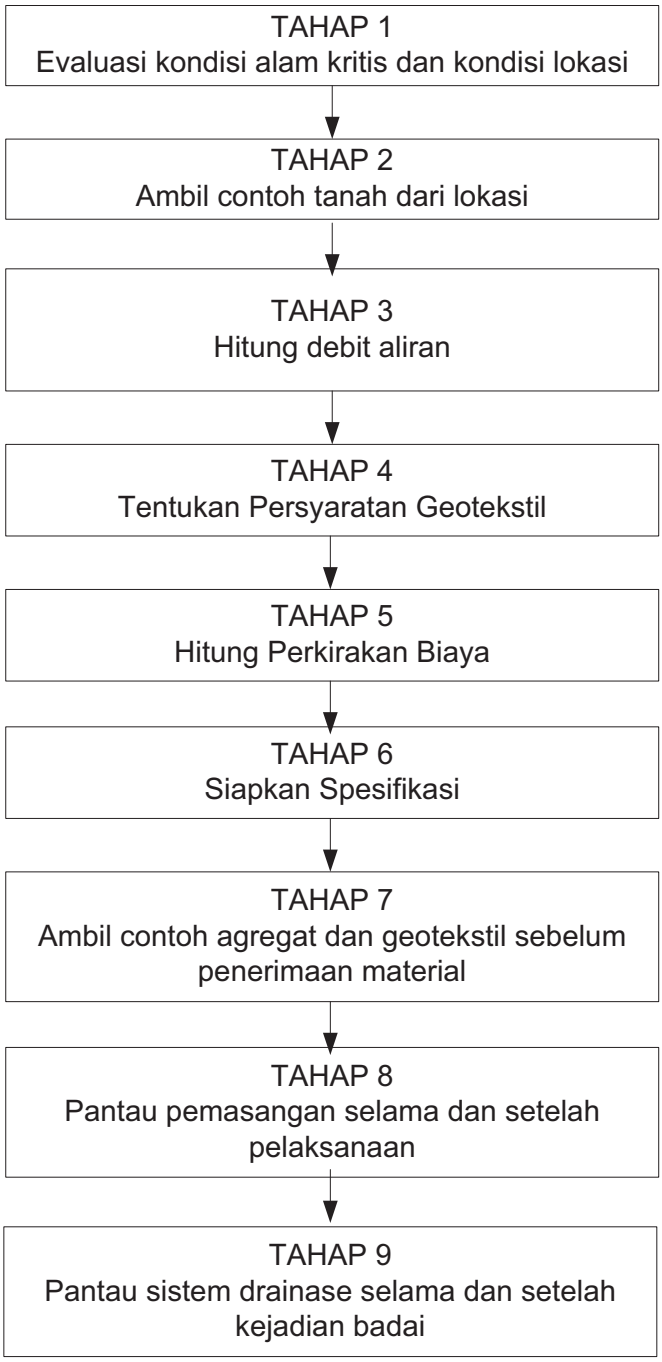
Sifat	Metode Uji	Satuan	Geotekstil Kelas 2 [5]	
			Pertambahan panjang < 50%[(6)]	**Pertambahan panjang ≥ 50%**[(6)]
Kuat *grab* (*Grab* Strength*)*	SNI 08-4417-1997 ASTM D 4632 ISO 10319:2008	N	1100	700
Kuat keliman Jahitan [(7)] (*Sewn Seam Strenght*)	ASTM D 4632 ISO 10319:2008 (RSNI M 03-2005)	N	990	630
Kuat Sobek (*Tear Strength*)	ASTM D 4533 ISO 13937-2000 SNI 08-4644-1998	N	400[(8)]	250
Kuat Tusuk (*Puncture Strength*)	RSNI M 02-2005 ASTM D 6241 ISO 12236:2006	N	2200	1375

Catatan:

1. Material geotekstil yang disetujui harus didasarkan ASTM D4759
2. Persetujuan harus didasarkan pada pengujian sample yang mengacu pada ASTM D 4354 prosedur A, atau didasarkan pada sertifikasi pabrik dan uji kualitas yang mengacu pada ASTM D 4354 (SNI 08-4419-1997)
3. Minimum: gunakan nilai arah utama yang lebih lemah. Seluruh angka mewakili nilai gulungan minimum rata-rata (sebagai contoh, hasil uji dari sembarang sample dalam satu bagain harus sama atau melebihi nilai-nilai dalam table). Nilai-nilai tertera adalah untuk kondisi kurang kritis atau kurang beresiko dalam pelaksanaan. Sampel-sampel bagian menurut ASTM D 4354
4. Geotekstil teranyam jenis *silt film* tidak boleh digunakan.
5. Pemilihan geotekstil. Perencana (engineer) bisa menspesifikasikan geotekstil kelas 3 untuk aplikasi drainase parit didasarkan pada satu atau lebih dari pertimbangan berikut ini:
(a) Perencana telah membuktikan geotekstil kelas 3 memiliki daya tahan yang cukup berdasarkan pengalaman,
(b) Perencana telah membuktikan geotekstil kelas 3 memiliki daya tahan yang cukup berdasarkan pada uji laboratorium dan pemeriksaan visual pada sample yang diambil dari lapangan pada kondisi yang disesuaikan,
(c) drainase bawah tanah kurang dari 2m, diameter agregat kurang dari 30mm dan persyaratan kepadatan sama atau kurang dari 95% standard AASHTO T-99
6. Seperti yang diukur menurut prosedur ASTM D 4632
7. Jika dibutuhkan pelipit jahitan, nilai-nilai diterapkan pada jahitan di lapangan maupun pabrik.
8. Kebutuhan kuat sobek MARV untuk geotekstil teranyam benang tunggal (*woven monofilament*) adalah 250N.

2.3. Tahapan Perencanaan

Secara umum, tahapan perencanaan untuk penyaring (filter) geotekstil digambarkan dalam bagan alir pada Gambar 4, berikut ini, yaitu:



Gambar 4 Bagan Alir Perencanaan Penyaring (filter)

TAHAP 1. Mengevaluasi kondisi kritis proyek dan kondisi lokasi (lihat **Error! Reference source not found.**)

Keputusan yang rasional harus digunakan dalam mengkategorikan suatu proyek, karena mungkin terdapat perbedaan biaya yang signifikan untuk geotekstil yang dibutuhkan untuk kondisi kritis atau kompleks. Pemilihan akhir tidak harus berdasarkan biaya material terendah saja, dan biaya tidak boleh dikurangi dengan menghilangkan pengujian kinerja tanah-geotekstil di laboratorium, jika pengujian tersebut tepat untuk dilakukan.

TAHAP 2. Mengambil contoh uji dari lokasi, dan:

A. Melakukan analisis ukuran butir.
   - Menghitung $C_u = D_{60}/D_{10}$ (Persamaan [2])
   - Memilih kasus tanah yang paling jelek untuk retensi (biasanya tanah dengan B*x* D_{85} terkecil)

   CATATAN: Apabila tanah mengandung partikel 25 mm dan lebih besar, gunakan hanya gradasi tanah yang lolos saringan ukuran 4,75 mm dalam memilih geotekstil (hilangkan material dengan ukuran yang lebih besar dari 4,75 mm misalnya kerikil dan bongkah).

B. Melakukan pengujian permeabilitas lapangan atau di laboratorium.
   - Memilih tanah yang paling jelek (tanah dengan koefisien permeabilitas, k, yang paling tinggi).
   - Permeabilitas pasir (*clean sand*) dengan 0,1 mm < D_{10} < 3 mm dan C_u < 5 dapat diperkirakan menggunakan formula Hazen, k = $(D_{10})^2$ (k dalam cm/detik; D_{10} dalam mm). Formula ini tidak boleh digunakan untuk tanah dengan jumlah partikel halus yang banyak (> 50% lolos saringan 0.075 mm berdasarkan USCS).

C. Memilih agregat drainase.

- Gunakan material yang dapat menyalirkan air, dengan gradasi terbuka dan tentukan permeabilitasnya (misalnya Gambar 5). Jika memungkinkan, hindari agregat yang tajam dan bersudut. Jika terpaksa harus digunakan, maka harus ditetapkan suatu geotekstil yang memenuhi persyaratan berdaya tahan tinggi dalam Tabel 3. Untuk perbandingan biaya perencanaan yang akurat, bandingkan biaya agregat dengan gradasi terbuka terhadap pemilihan agregat penyaring (filter) dengan gradasi baik dan yang dapat menyalirkan air.

TAHAP 3. Menghitung debit aliran air yang menuju dan melalui sistem drainase serta hitung dimensi sistem drainase. Gunakan pipa pengumpul untuk mengurangi ukuran penyalir.

A. Kasus Umum

B.

Gunakan Hukum Darcy

$$q = k\ i\ A$$

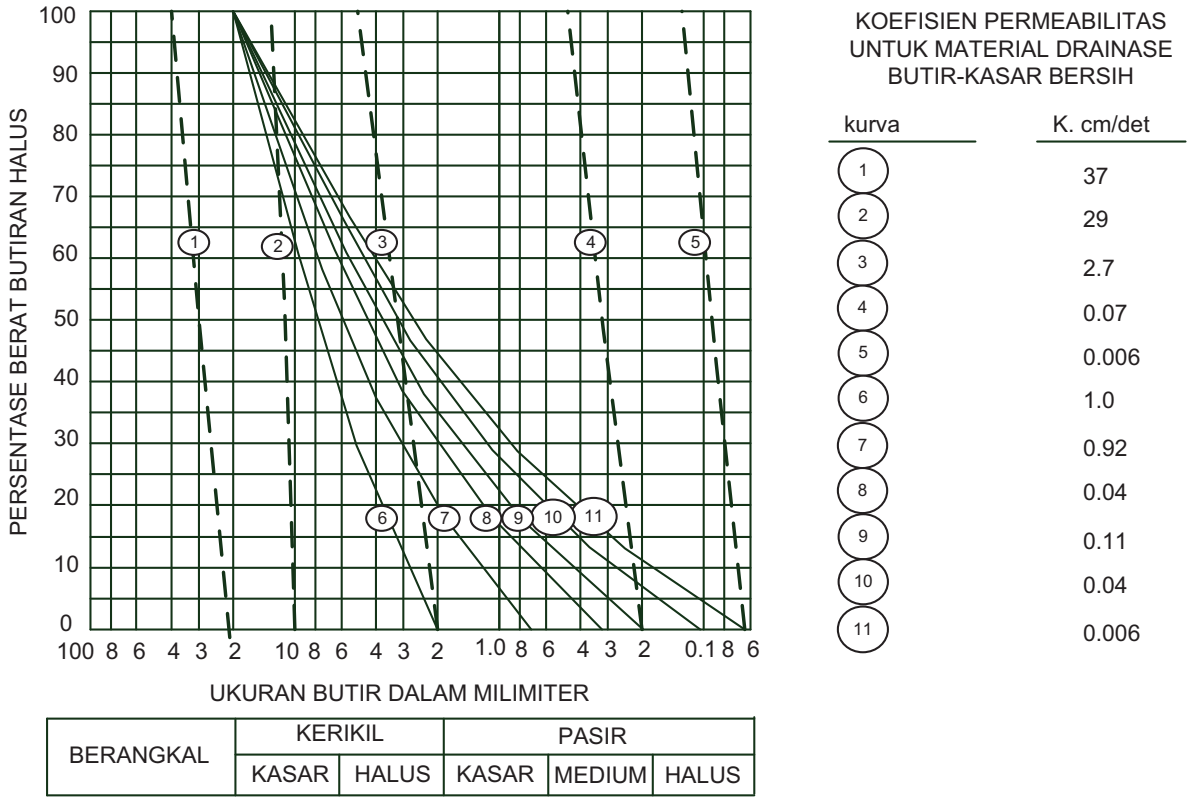
di mana:

q = kecepatan infiltrasi (L^3/T)

k = permeabilitas efektif tanah (dari Tahap 2B di atas) (L/T)

i = gradien hidrolik rata-rata pada tanah dan pada penyalir (L/L)

A = luas tanah dan material penyalir normal terhadap arah aliran (L^2)



Gambar 5 Gradasi tipikal dan permeabilitas Darcy dari beberapa agregat dan material penyaring (filter) bergradasi (U.S. Navy, 1982)

Gunakan analisis jaring alir (*flow net*) konvensional untuk menghitung gradien hidrolik (Cedergren, 1977) dan Hukum Darcy untuk memperkirakan kecepatan infiltrasi ke dalam penyalir; kemudian gunakan Hukum Darcy untuk merencanakan penyalir (hitung luas penampang A untuk aliran yang melewati agregat dengan gradasi terbuka). Perlu dicatat bahwa nilai gradien hidrolik pada tanah yang berdekatan dengan penyaring (filter) geotekstil (Giroud, 1988) adalah:

- i < 1 untuk drainase di bawah jalan, timbunan, lereng, dll, apabila sumber utama air adalah air hujan; dan
- i = 1,5 untuk kasus parit drainase dan penyalir vertikal di belakang dinding-dinding (penahan).

TAHAP 4. Menentukan persyaratan geotekstil.

A. Kriteria Retensi

Untuk Tahap 2A, tentukan D_{85} dan C_u; kemudian tentukan ukuran pori terbesar yang diizinkan.

$AOS < B\ D_{85}$ (Persamaan [1])

Di mana:

B = 1 untuk perencanaan yang konservatif. Untuk perencanaan yang kurang konservatif, dan untuk $\leq$ 50% lolos saringan ukuran 0,075 mm:

$B = 1$	untuk $C_u \leq 2$ atau ≥ 8	(Persamaan [2a])
$B = 0{,}5\ C_u$	untuk $2 \leq C_u \leq 4$	(Persamaan [2b])
$B = 8/C_u$	untuk $4 < C_u < 8$	(Persamaan [2c])

dan, untuk > 50% lolos saringan ukuran 0,075 mm:

B = 1 untuk geotekstil teranyam,

B = 1,8 untuk geotekstil tak-teranyam,

dan AOS (geotekstil) $\leq$ 0,3 mm (Persamaan [5])

Catatan: Tanah dengan C_u lebih besar dari 20 mungkin tidak stabil: jika demikian, pengujian kinerja harus dilakukan untuk memilih geotekstil yang sesuai.

B. Kriteria Permeabilitas/Permitivitas

1. Kurang Kritis/Kurang kompleks

$k_{geotekstil} \geq k_{tanah}$ (Persamaan [7a])

2. Kritis/Kompleks

$k_{geotekstil} \geq 10\ k_{tanah}$ (Persamaan [7b])

3. Persyaratan Permitivitas

$\psi \geq 0{,}5\ detik^{-1}$ untuk < 15% lolos 0,075 mm (Persamaan [8a])

$\psi \geq 0{,}2\ detik^{-1}$ untuk 15% hingga 50% lolos 0,075 mm (Persamaan [8b])

$\psi \geq 0{,}1\ detik^{-1}$ untuk > 50% lolos 0,075 mm (Persamaan [8c])

4. Persyaratan Kapasitas Aliran

$q_{dibutuhkan} = q_{geotekstil}/(A_g/A_t)$, atau (Persamaan [9])

$$(k_{geotekstil}/t)\, h\, A_g \geq q_{dibutuhkan} \quad [14]$$

di mana:

$q_{dibutuhkan}$ diperoleh dari TAHAP 3B (Persamaan [14]) di atas;

$k_{geotekstil}/t$ = ψ = permitivitas;

t = ketebalan geotekstil;

h = tinggi energi rata-rata di lapangan;

A_g = luas geotekstil yang tersedia untuk aliran (**contoh**: apabila 80% dari geotekstil tercakup oleh dinding suatu pipa, A_g = 0,2 x luas total); dan

A_t = luas total geotekstil.

C. Kriteria Penyumbatan

1. Kurang Kritis

a. Dari Tahap 2A diperoleh D_{15}; kemudian tentukan persyaratan ukuran pori minimum dari

$O_{95} \geq 3D_{15}$, untuk $C_u > 3$ (Persamaan [10])

b. Persyaratannya lainnya:

Geotekstil tak-teranyam:

Porositas (geotekstil) $\geq$ 50% (Persamaan [11])

Geotekstil teranyam:

Persentase luas terbuka $\geq$ 4% (Persamaan [12])

Alternatif : Lakukan pengujian filtrasi

2. Kritis

   Pilihlah geotekstil yang memenuhi kriteria retensi, permeabilitas, dan daya tahan (*survivability*), seperti kriteria yang terdapat pada Tahap 4C.1 di atas, dan lakukan pengujian filtrasi.

D. Kriteria Umur dan Kinerja

   Pilihlah sifat-sifat (kriteria) geotekstil yang dibutuhkan sesuai daya tahan (*survivability*) dari Tabel 3. Tambahkan persyaratan durabilitas jika tersedia.

TAHAP 5. Memperkirakan biaya.

Hitung ukuran pipa (jika dibutuhkan), volume agregat, dan luas geotekstil. Gunakan nilai-nilai biaya satuan yang sesuai.

Pipa (jika dibutuhkan) (/m)	----------
Agregat (/m^3)	----------
Geotekstil (/m^2)	----------
Penempatan geotekstil (/m^2)	----------
Pelaksanaan (LS)	----------
Biaya Total:	----------

TAHAP 6. Mempersiapkan spesifikasi.

Lingkup untuk geotekstil:

A. Persyaratan umum
B. Sifat-sifat geotekstil khusus
C. Sambungan dan tumpang-tindih (*overlap*)
D. Prosedur penempatan
E. Perbaikan
F. Persyaratan pengujian dan pengamatan penempatan

Lihat Seksi 1.6 dan 2.7 untuk rincian spesifikasi.

TAHAP 7. Mengumpulkan contoh uji agregat dan geotekstil sebelum diterima.

TAHAP 8. Memantau pemasangan selama dan setelah pelaksanaan.

TAHAP 9. Mengamati sistem drainase selama dan setelah kejadian badai.

2.4. Contoh Perencanaan

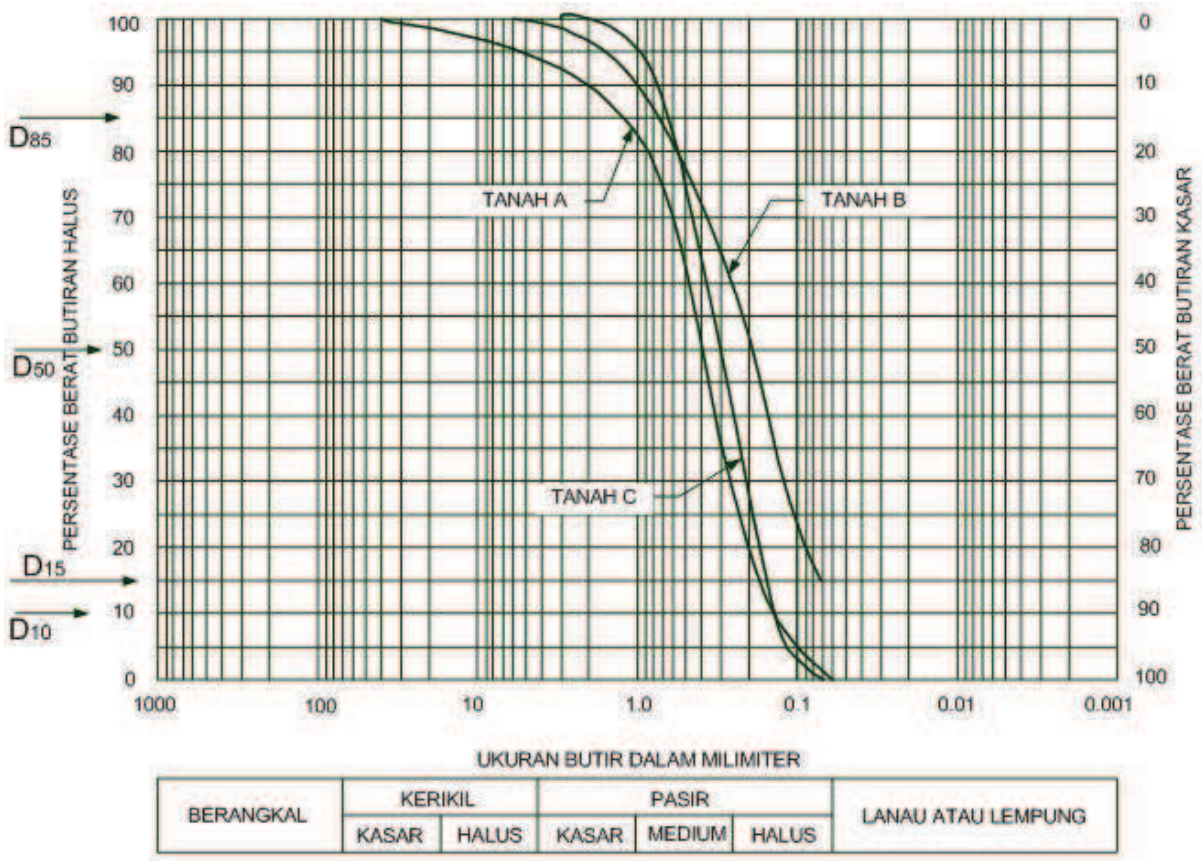
Soal 1

Contoh Deskripsi Proyek

- Deskripsi Proyek: penyalir untuk menangkap air tanah akan ditempatkan berdekatan dengan jalan raya dua-lajur
- Jenis Struktur: penyalir parit
- Jenis Penggunaan: agregat yang dibungkus geotekstil (*geotextile wrapping of aggregate drain stone*)
- Alternatif:
  i) penyaring (filter) tanah bergradasi di antara agregat dan tanah yang disalirkan; atau
  ii) agregat yang dibungkus geotekstil (*geotextile wrapping of aggregate*)

Data yang Tersedia

- lokasi proyek memiliki muka air tanah yang tinggi
- penyalir dimaksudkan untuk mencegah aliran air bawah tanah (*seepage*) dan kegagalan lereng dangkal, yang saat ini merupakan masalah pemeliharaan
- kedalaman penyalir parit adalah 1 meter
- contoh uji tanah sepanjang alinyemen penyalir yang diusulkan merupakan tanah nonplastis
- gradasi dari tiga contoh uji tanah yang mewakili sepanjang alinyemen penyalir yang diusulkan:



Kurva Distribusi Ukuran Butir

Tentukan

A. Fungsi geotekstil
B. Sifat-sifat geotekstil yang dibutuhkan
C. Spesifikasi geotekstil

Pemecahan Masalah

A. Fungsi geotekstil:
   Primer - filtrasi
   Sekunder - separasi
B. Sifat-sifat geotekstil yang dibutuhkan:
   ukuran bukaan, *apparent opening size* (AOS)
   permitivitas
   daya bertahan (*survivability*)

PERENCANAAN

TAHAP 1. MENGEVALUASI KONDISI KRITIS DAN KONDISI LOKASI PROYEK

Dari data yang diberikan, asumsikan bahwa kasus ini adalah nonkritis.

Tanah memiliki gradasi-baik, nilai gradien hidrolik rendah, dan kondisi aliran adalah keadaan-konstan (*steady-state*).

TAHAP 2. MENGAMBIL CONTOH UJI TANAH

A. ANALISI UKURAN BUTIR

Plot gradasi dari tanah yang mewakili. Ukuran butiran pada persen lolos 60%, 10% dan 85%, yaitu D_{60}, D_{10}, dan D_{85} ditunjukkan pada tabel di bawah ini untuk contoh uji A, B, dan C. Kemudian tentukan koefisien keseragaman, C_u, koefisien B, dan AOS maksimum.

Kondisi tanah terburuk untuk kriteria retensi (yaitu yang memiliki B x D_{85} terkecil) adalah Tanah C, dari tabel berikut ini.

Contoh Uji	$D_{60} : D_{10} = C_u$	B =	AOS (mm) $\leq$ B x D_{85}
A	0,48 : 0,15 = 3,2	$0{,}5C_u$ = 0,5 x 3,2 = 1,6	1,6 x 1,0 = 1,6
B	0,25 : 0,06 = 4,2	8 : C_u = 8 : 4,2 = 1,9	1,9 x 0,75 = 1,4
C	0,36 : 0,14 = 2,6	$0{,}5C_u$ = 0,5 x 2,6 = 1,3	1,3 x 0,55 = 0,72

B. PENGUJIAN PERMEABILITAS

Pada kondisi nonkritis, penyalir akan direncakana secara konservatif dengan permeabilitas perkiraan.

Nilai D_{10} terbesar mengendalikan permeabilitas; oleh karena itu, Tanah A dengan D_{10} = 0,15 mm yang menentukan. Maka:

$k \approx (D_{10})^2 = (0{,}15)^2 = 2(10)^{-2}$ cm/detik = $2(10)^{-4}$ m/detik

C. MEMILIH AGREGAT PENYALIR

Batu penyalir diasumsikan agregat bundar.

TAHAP 3. DIMENSI SISTEM PENYALIR

Tentukan kedalaman dan lebar parit penyalir dan apakah pipa dibutuhkan– rincian perhitungan tidak termasuk dalam contoh ini.

TAHAP 4. MENENTUKAN PERSYARATAN/KEBUTUHAN GEOTEKSTIL

A. KRITERIA RETENSI

Karena kondisi tanah C menentukan, maka AOS $\leq$ 0,72 mm

B. KRITERIA PERMEABILITAS

Dari data yang ada, telah ditentukan bahwa penggunaan ini merupakan kondisi kritis/kurang kompleks. Oleh karena itu, $k_{geotekstil} > k_{tanah}$.

Karena kondisi tanah C menentukan, maka $k_{geotekstil} > 2(10)^{-4}$ m/detik.

Persyaratan kapasitas aliran pda sistem – rincian yang tidak termasuk dalam contoh ini.

C. KRITERIA PERMITIVITAS

Ketiga jenis tanah memiliki < 15% lolos 0,075 mm, oleh karena itu $\psi \geq 0,5$ detik^{-1}.

D. KRITERIA PENYUMBATAN

Dari data yang ada, telah telah ditentukan bahwa penggunaan ini merupakan kondisi kritis/kurang kompleks, dan Tanah A dan B memiliki nilai C_u lebih besar dari 3. Oleh karena itu, untuk tanah A dan B, $O_{95} \geq$ 3D15.

$O_{95} >$ 3 x 0,15 = 0,45 mm untuk Contoh Uji A
3 x 0,075 = 0,22 mm untuk Contoh Uji B

Tanah A menentukan [Catatan: partikel berukuran pasir umumnya tidak menimbulkan penyumbatan, oleh karena itu, Tanah B dapat digunakan sebagai kontrol perencanaan.], oleh karena itu, AOS $\geq$ 0,45 mm.

Untuk Tanah C, geotekstil dengan nilai AOS maksimum yang ditentukan dari kriteria retensi harus digunakan. Oleh karena itu, AOS ≈ 0,72 mm.

Selain itu juga,

porositas geotekstil tak-teranyam $\geq$ 50%

dan

persentase luas terbuka geotekstil teranyam $\geq$ 4%

Untuk fungsi utama sebagai filtrasi, geotekstil harus memiliki 0,45 mm $\leq$ AOS $\leq$ 0,72 mm; dan $k_{geotekstil} > 2(10)^{-2}$ cm/detik, $\psi \geq 0,5$ detik^{-1}. Geotekstil potongan film teranyam tidak diizinkan.

E. DAYA BERTAHAN (*SURVIVABILITY*)

Dari Tabel 2, direkomendasikan nilai-nilai minimum berikut ini:
Untuk daya bertahan (*survivability*), geotekstil harus memiliki nilai-nilai minimum berikut ini (nilai merupakan MARV) –

	Geotekstil Teranyam	Geotekstil Tak-Teranyam
Kuat Grab	1100 N	700 N
Kuat Sambungan Keliman	990 N	630 N
Kuat Robek	400* N	250 N
Kuat Tusuk	400 N	250 N
Robek Trapezoidal	2700 N	1300 N

Catatan: *250 N untuk geotekstil monofilamen

Lengkapi Tahap 5 hingga 9 untuk menyelesaikan perencanaan.

TAHAP 5. MEMPERKIRAKAN BIAYA

TAHAP 6. MENYIAPKAN SPESIFIKASI

TAHAP 7. MENGUMPULKAN CONTOH UJI

TAHAP 8. MEMANTAU PEMASANGAN

TAHAP 9. MENGAMATI SISTEM PENYALIR SELAMA DAN SETELAH KEJADIAN BADAI

3 Desain Berdasarkan Spesifikasi

Spesifikasi Khusus Geotekstil untuk Penyaring (filter) dari Direktorat Jenderal Bina Marga 2009 memberikan acuan desain berdasarkan spesifikasi. Spesifikasi ini memberikan acuan pemilihan geotekstil berdasarkan tingkat daya bertahan (*survivability*) terhadap kondisi lingkungan, alat berat yang digunakan saat pemasangan dan tebal penghamparan timbunan di atas geotekstil. Selain itu cara pengambilan contoh, pengujian, penerimaan dan pelaksanaan juga diatur dalam spesifikasi ini. Spesifikasi tersebut merupakan adopsi dari AASHTO M 288-06, *Standard Specification for Geotextile Application for Highway Applications*.

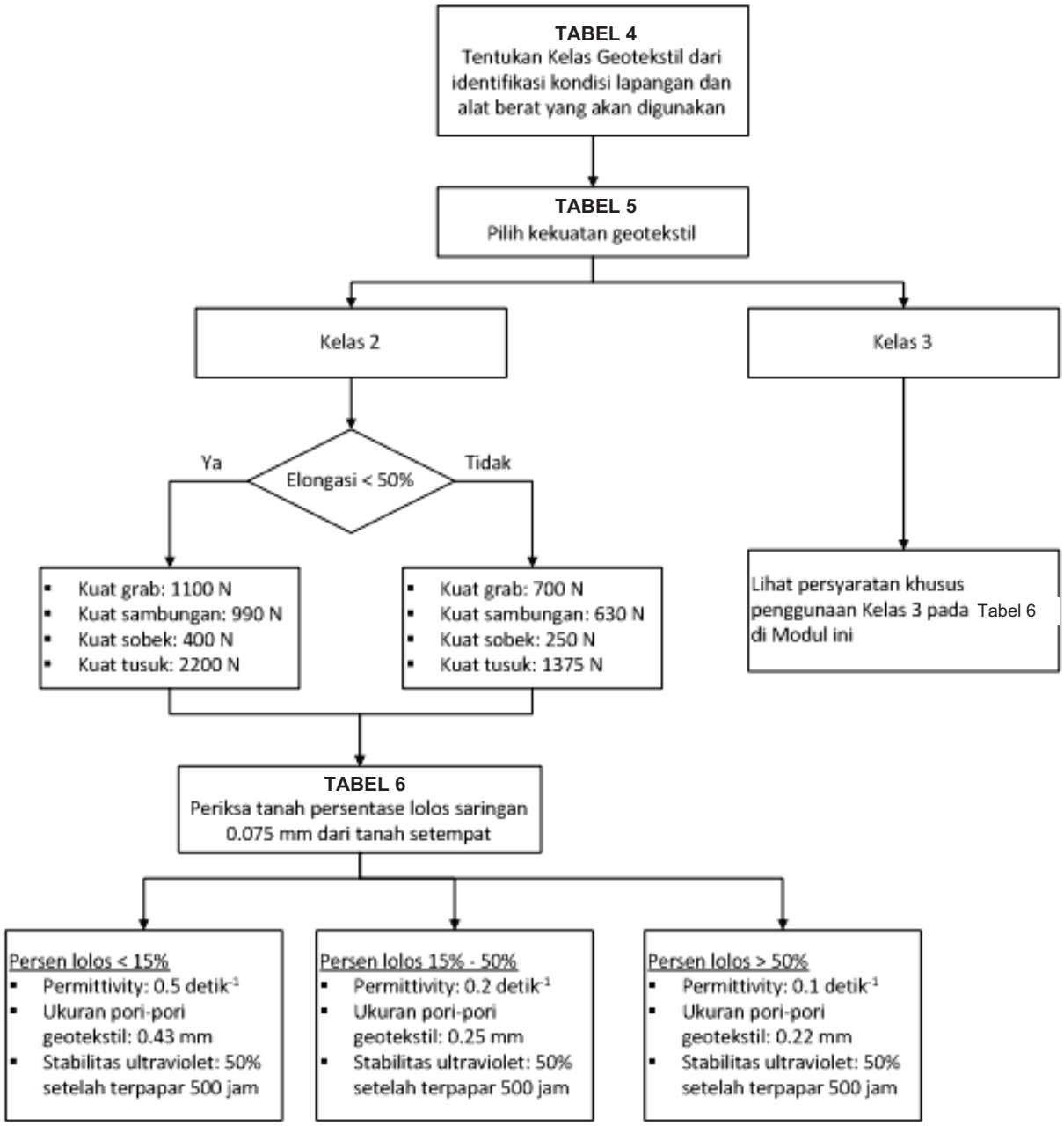
Spesifikasi khusus tersebut dapat digunakan untuk pemasangan geotekstil pada tanah yang berfungsi untuk mengalirkan air ke dalam sistem drainase bawah permukaan dan menahan perpindahan tanah setempat tanpa terjadinya penyumbatan dalam jangka panjang. Fungsi utama geotekstil dalam sistem drainase bawah permukaan adalah sebagai penyaring atau penyaring (filter). Sifat-sifat geotekstil penyaring (filter) merupakan fungsi dari gradasi, plastisitas dan kondisi permeabilitas tanah setempat.

3.1. Persyaratan Geotekstil

Spesifikasi khusus Bina Marga tersebut memberikan tiga kelas geosintetik berdasarkan daya bertahan selama pemasangan seperti diperlihatkan pada Tabel 4 yaitu:

- Kelas 1: untuk kondisi lapangan yang sangat berpotensi merusak geotekstil.
- Kelas 2: untuk kondisi lapangan yang umum.
- Kelas 3: untuk kondisi lapangan yang tidak berpotensi atau berpotensi rendah untuk merusak geotekstil.

Secara umum, prosedur pemilihan geotekstil diperlihatkan dalam bentuk alir pada Gambar 6. Nilai-nilai pada bagan alir tersebut seluruhnya merupakan nilai gulungan rata-rata minimum (*Minimum Average Roll Value, MARV*) pada arah utama terlemah kecuali ukuran pori-pori geotekstil. Nilai Ukuran Pori-pori Geotekstil pada bagan alir tersebut merupakan nilai gulungan rata-rata maksimum.



Gambar 6. Bagan Alir Pemilihan Geotekstil Penyaring (filter) untuk Drainase Bawah Permukaan

Tabel 4. Syarat Derajat Daya Bertahan (*survivability*)

	Tekanan permukaan dari alat (equipment ground pressure)		
	Rendah (≤ 25 kPa)	Sedang (25 – 50 kPa)	Tinggi (> 50 kPa)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan kecuali rumput, kayu, daun dan sisa ranting kayu. Permukaan halus dan rata sehingga lubang/gundukan tidak lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup. Alternatif lain, lantai kerja dapat digunakan.	Rendah (Kelas 3)	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan yang lebih besar dari cabang kayu dan batu yang berukuran kecil sampai sedang. Batang dan pangkal/akar pohon harus dipindahkan atau ditutup sebagian dengan lantai kerja. Lubang/gundukan tidak boleh lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup.	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)
Diperlukan persiapan lokasi secara minimal. Pohon dapat ditumbangkan, dipotong-potong dan ditinggalkan di tempat. Pangkal/akar pohon harus dipotong dan tidak boleh lebih dari 150 mm diatas tanah dasar. Geotekstil dapat dipasang langsung diatas cabang pohon, pangkal/akar pohon, lubang besar dan tonjolan, saluran dan bolder. Ranting, pangkal/akar, lubang besar dan tonjolan, alur air dan bongkah batu. Benda-benda harus dipindahkan hanya jika penempatan geotekstil dan bahan penutup akan berpengaruh terhadap permukaan akhir jalan.	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)	Tidak Direkomendasikan

Catatan:

Syarat derajat daya bertahan (*survivability*) merupakan fungsi dari kondisi tanah dasar, peralatan konstruksi dan tebal penghamparan. Sifat-sifat geotekstil Kelas 1, 2 and 3 ditunjukkan pada Error! Reference source not found.; Kelas 1+ sifat-sifatnya lebih tinggi dari Kelas 1, tetapi belum terdefinisikan sampai saat ini dan jika digunakan harus disyaratkan oleh Pengguna Jasa.

Rekomendasi tersebut adalah untuk tebal penghamparan awal antara 150 - 300 mm. Untuk tebal penghamparan awal lainnya:

- 300 - 450 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar satu tingkat
- 450 - 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar dua tingkat
- 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar tiga tingkat

Tabel 5.Persyaratan Kekuatan Geotekstil

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas Geotekstil [a, b]					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]
Kuat Grab (*Grab Strength)*	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1400	900	1100	700	800	500
Kuat Sambungan Keliman [d] (*Sewn Seam Strenght*)	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1260	810	990	630	720	450
Kuat Sobek (*Tear Strength*)	ASTM D 4533 ISO 13937-2000 SNI 08-4644-1998	N	500	350	400[e]	250	300	180
Kuat Tusuk (*Puncture Strength*)	ASTM D 6241 ISO 12236:2006	N	2750	1925	2200	1375	1650	990
Permitivitas (*Permittivity*)	ASTM D 4491 ISO 11058:1999 SNI 08-6511-2001	$detik^{-1}$	Nilai sifat minimum untuk Permitivitas, Ukuran Pori-pori Geosintetik (*Apparent Opening Size, AOS*), dan Stabilitas Ultraviolet ditentukan berdasarkan aplikasi geosintetik. Lihat Tabel 3.3 dari modul ini untuk drainase bawah permukaan.					
Ukuran Pori-pori Geotekstil[c, d] (*Apparent Opening Size, AOS*)	ASTM D 4751 ISO 12956:1999 SNI 08-4418-1997	mm						
Stabilitas Ultraviolet (kekuatan sisa)	ASTM D 4355	%						

Catatan:

[a] Kelas geotekstil yang dibutuhkan mengacu pada Tabel 3.1 pada modul ini sesuai dengan penggunaannya. Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

[b] Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum dalam arah utama terlemah.

[c] Ditentukan berdasarkan ASTM D 4632 atau RSNI M-01-2005.

[d] Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

[e] Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan untuk geotekstil filamen tunggal teranyam (*woven monofilamen geotextile*) adalah 250 N.

Tabel 6.Persyaratan Geotekstil untuk Drainase Bawah Permukaan

			Persyaratan, Persen lolos saringan 0,075 mm[(a)] dari tanah setempat		
Sifat	**Metode Uji**	**Satuan**	**< 15**	**15 – 50**	**> 50**
Kelas Geotekstil			Kelas 2 dari Tabel 3.2 dari modul ini [(b)]		
Permitivitas [(c, d)] (*Permittivity*)	ASTM D 4491 ISO 11058:1999 SNI 08-6511-2001	detik^{-1}	0,5	0,2	0,1
Ukuran Pori-pori Geotekstil[(c, d)] (*Apparent Opening Size, AOS*)	ASTM D 4751 ISO 12956:1999 SNI 08-4418-1997	mm	0,43 (nilai gulungan rata-rata maksimum)	0,25 (nilai gulungan rata-rata maksimum)	0,22[(e)] (nilai gulungan rata-rata maksimum)
Stabilitas Ultraviolet (kekuatan sisa)	ASTM D 4355	%	50% setelah terpapar 500 jam		

Catatan:

[a] Berdasarkan analisis ukuran butir dari tanah setempat mengacu pada SNI 03-3423-1994 (AASHTO T88).

[b] Kelas 2 merupakan pilihan baku (*default*) untuk drainase bawah permukaan. Kelas 3 dari Tabel 3.2 dari dapat digunakan untuk saluran drainase (*trench drain*) berdasarkan satu atau beberapa alasan berikut:

1. Perekayasa telah membuktikan bahwa Kelas 3 mempunyai daya bertahan yang cukup berdasarkan pengalaman lapangan.
2. Perekayasa telah membuktikan bahwa Kelas 3 mempunyai daya bertahan yang cukup berdasarkan pengujian laboratorium dan pengamatan visual terhadap suatu benda uji yang diambil dari suatu uji coba lapangan yang dibangun sesuai dengan kondisi lapangan yang akan terjadi.
3. Kedalaman drainase bawah permukaan kurang dari 2m; diameter agregat drainase kurang dari 30 mm; dan syarat pemadatan kurang dari 95% berdasarkan SNI 03-1742-1989 (AASHTO T99).

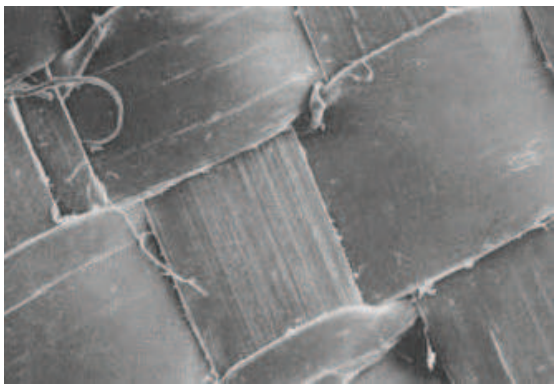
[c] Nilai sifat filtrasi baku (*default*) ini didasarkan pada ukuran butir terbesar tanah setempat. Selain nilai permitivitas baku ini, perekayasa dapat mensyaratkan adanya uji permeabilitas dan/atau uji kinerja berdasarkan perencanaan teknik untuk sistem drainase pada lingkungan tanah problematik.

[d] Perencanaan geotekstil yang khusus untuk suatu lokasi harus dilakukan terutama jika satu atau lebih dari lingkungan tanah problematik sebagai berikut ditemukan: tanah yang tidak stabil atau sangat erosif seperti lanau non-kohesif, tanah dengan bergradasi senjang, tanah terlaminasi dengan lapisan pasir/lanau berselang-seling, lempung yang dapat larut, dan/atau serbuk batuan.

[e] Untuk tanah kohesif dengan nilai Indeks Plastisitas lebih dari 7, nilai gulungan rata-rata maksimum geotekstil untuk Ukuran Pori-pori Geotekstil (*Apparent Opening Size, AOS*) adalah 0,30 mm.

Beberapa persyaratan lain dari spesifikasi ini adalah:

1. Serat yang digunakan untuk membuat geotekstil dan tali (*thread*) yang digunakan untuk menyambung geotekstil dengan cara dijahit, harus terdiri dari polimer sintetik rantai panjang yang terbentuk dari sekurang-kurangnya 95% berat poliolefin atau poliester. Serat dan tali harus dibentuk menjadi suatu jejaring stabil sedemikian rupa sehingga filamen atau benang (*yarn*) dapat mempertahankan stabilitas dimensinya relatif terhadap yang lainnya, termasuk *selvage* (bagian tepi teranyam dari suatu lembar geotekstil yang sejajar dengan arah memanjang geotekstil).
2. Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*), maka kuat sambungan yang ditentukan berdasarkan ASTM D 4632 atau RSNI M-01-2005 harus sama atau lebih dari 90% kuat grab (*grab strength*) yang disyaratkan.
3. Geotekstil potongan film teranyam (*woven slit film* geotextiles) tidak boleh digunakan untuk drainase bawah permukaan. Contoh dari geotekstil potongan film teranyam diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 7.Geotekstil Potongan Film Teranyam

3.2. Pengendalian Mutu

Spesifikasi khusus Bina Marga mempersyaratkan adanya jaminan mutu untuk produk geotekstil yang akan digunakan. Dalam spesifikasi tersebut, pihak pabrik diharuskan melaksanakan dan mempertahankan program pengendalian mutu untuk memastikan persyaratan kesesuaian bahan terhadap persyaratan yang ditentukan dalam spesifikasi khusus ini. Bahkan disyaratkan bahwa pihak pabrik pembuat harus memberikan dokumentasi tentang program pengendalian mutu jika diminta oleh Pengguna Jasa.

Spesifikasi ini mengacu pada ASTM D 4354 untuk pengambilan contoh, pengujian contoh dan penerimaan geotekstil. Apabila Pengguna Jasa tidak melakukan pengujian, verifikasi dapat didasarkan pada sertifikasi Pabrik yang merupakan hasil pengujian yang dilakukan Pabrik terhadap benda uji untuk jaminan mutu yang diperoleh dengan menggunakan prosedur Pengambilan Contoh untuk Uji Jaminan Mutu Pabrik (*Sampling for Manufacturer's Quality Assurane Testing*) ASTM D 4354.

3.3. Pelaksanaan

3.3.1. Umum

Setelah penggelaran geotekstil, geotekstil tidak boleh terpapar unsur-unsur atmosfir lebih dari 14 hari untuk mengurangi potensi kerusakan.

3.3.2. Penyambungan

1) Jika sambungan keliman akan digunakan untuk menyambung geotekstil, maka tali (*thread*) yang digunakan harus terbuat dari polipropilena atau poliester dengan kekuatan tinggi. Tali dari nilon tidak boleh digunakan. Tali harus mempunyai warna yang kontras terhadap geotekstil yang disambung.

2) Untuk sambungan yang dikelim di lapangan, Kontraktor harus menyediakan sekurang-kurangnya 2 m panjang sambungan keliman untuk diuji oleh Direksi Pekerjaan sebelum geotekstil dipasang. Untuk sambungan yang dikelim di Pabrik, Direksi Pekerjaan harus mengambil contoh uji dari sambungan Pabrik secara acak dari setiap gulungan geotekstil yang akan digunakan di proyek.

   a) Untuk sambungan yang dikelim di lapangan, contoh uji dari sambungan keliman yang diambil harus dikelim dengan menggunakan alat dan prosedur yang sama seperti yang akan digunakan dalam pelaksanaan penyambungan pada pekerjaan sesungguhnya. Jika sambungan dikelim dalam arah mesin dan arah melintang mesin, contoh uji sambungan dari kedua arah harus diambil.

   b) Kontraktor harus memberikan penjelasan mengenai tata cara penyambungan bersama dengan contoh uji sambungan. Penjelasan tersebut mencakup jenis sambungan, jenis jahitan, benang jahit dan kerapatan jahitan.

9.1. Drainase Bawah permukaan

1) Penggalian saluran harus dilakukan sesuai dengan rincian dalam rencana proyek. Setiap penggalian harus dilakukan sedemikian rupa untuk mencegah terjadinya rongga besar pada sisi dan dasar saluran. Permukaan galian harus rata dan bebas dari kotoran atau sisa galian.

2) Geotekstil untuk drainase harus digelarkan secara lepas tanpa kerutan atau lipatan, dan tanpa adanya rongga antara geotekstil dan permukaan tanah. Lembaran-lembaran geotekstil yang berurutan harus ditumpang-tindihkan (*overlapped)* minimum sepanjang 300 mm, dengan lembar bagian hulu berada di atas lembar bagian hilir.

   a) Untuk saluran dengan lebar lebih dari 300 mm, setelah agregat drainase dihamparkan, geotekstil harus dilipat di bagian atas urugan agregat sedemikian rupa sehingga menghasilkan tumpang tindih minimum sebesar 300 mm. Untuk saluran dengan lebar kurang dari 300 mm tetapi lebih dari 100 mm, lebar tumpang tindih harus sama dengan lebar saluran. Jika lebar saluran kurang dari 100 mm, maka tumpang tindih geotekstil harus dijahit atau diikat. Seluruh sambungan harus disetujui oleh Direksi Pekerjaan.

   b) Jika terjadi kerusakan geotekstil saat penggelaran atau saat penghamparan agregat drainase, maka suatu tambalan geotekstil harus ditempatkan di atas area yang rusak. Luas tambalan harus lebih besar daripada luas area geotekstil yang rusak, yaitu 300 mm dari tepi luar area yang rusak atau sebesar persyaratan sambungan tumpang tindih (pilih yang terbesar).

3) Penghamparan agregat drainase harus dilakukan segera setelah penggelaran geotekstil. Geotekstil harus ditutup dengan agregat setebal minimum 300 mm sebelum dilakukan pemadatan. Jika dalam saluran akan dipasang pipa berlubang kolektor, maka suatu lapisan dasar (*bedding layer*) dari agregat drainase harus dipasang di bawah pipa, dengan sisa agregat lainnya ditempatkan sesuai dengan kedalaman konstruksi minimum yang diperlukan.

4) Agregat drainase harus dipadatkan menggunakan alat getar hingga minimum 95% kepadatan standar, kecuali jika saluran diperlukan sebagai penyangga struktural. Jika energi pemadatan yang lebih

tinggi diperlukan, maka gunakan geotekstil Kelas 1 pada Tabel 5 dalam spesifikasi ini.

3.4. Contoh Soal

Suatu geotekstil non woven dengan elongasi sebesar 57% dan kuat tarik akan digunakan sebagai drainase bawah permukaan pada tanah yang lolos saringan 0.075 mm sebesar 60%. Kondisi lokasi tidak ada batang atau cabang kayu dan batu, tanah dasar telah dirapihkan sehingga tidak ada lubang dan gundukan lebih dari 30 cm. Pilihlah spesifikasi geosintetik:

Dengan menggunakan bagan alir dari Gambar 6, langkah yang dilakukan adalah:

- Berdasarkan Tabel 4 maka kelas geosintetik yang dibutuhkan adalah Kelas 2.
- Berdasarkan Tabel 5, untuk elongasi lebih dari 50%, maka kekuatan geosintetik yang dibutuhkan adalah:
  - Kuat grab ≥ 700 N
  - Kuat sambungan ≥ 630 N
  - Kuat sobek ≥ 250 N
  - Kuat tusuk ≥ 1375 N
- Berdasarkan Tabel 6, untuk tanah setempat dengan persentase lolos saringan 0.075 mm lebih dari 50%, maka persyaratan geosintetik adalah:
  - Permittivity ≥ 0.1 detik^{-1}
  - Ukuran pori-pori geotekstil ≤ 0.22 mm
  - Stabilitas ultraviolet ≥ 50% setelah terpapar 500 jam

4 Panduan Pemasangan Geosintetik

4.1. Panduan Umum

Pada modul ini, hanya akan dijelaskan mengenai panduan khusus pelaksanaan geosintetik yang berfungsi sebagai filter, sedangkan penjelasan mengenai panduan umum pelaksanaan geosintetik dapat dilihat pada buku modul Volume 5, Bab 3.

4.2. Panduan Khusus

Penerapan geotekstil yang berfungsi sebagai penyaring (filter) di lapangan memerlukan beberapa panduan khusus pelaksanaan konstruksi. Panduan berikut ini dapat berguna untuk kebanyakan penggunaan geotekstil sebagai penyaring (filter).

1. Permukaan di mana geotekstil akan dipasang harus digali hingga ketinggian rencana untuk memberikan permukaan yang halus dan bebas dari kotoran dan lubang yang besar.
2. Di antara persiapan tanah dasar dan pelaksanaan, geotekstil harus dilindungi dengan baik untuk mencegah penurunan kualitas akibat terpapar berbagai unsur.
3. Setelah penggalian hingga ketinggian rencana, geotekstil harus dipotong (jika diperlukan) hingga lebar yang diinginkan (termasuk ruang bebas untuk penempatan *non-tight* pada parit dan tumpang-tindih (*overlap*) ujung-ujung dari gulungan yang berdekatan) atau

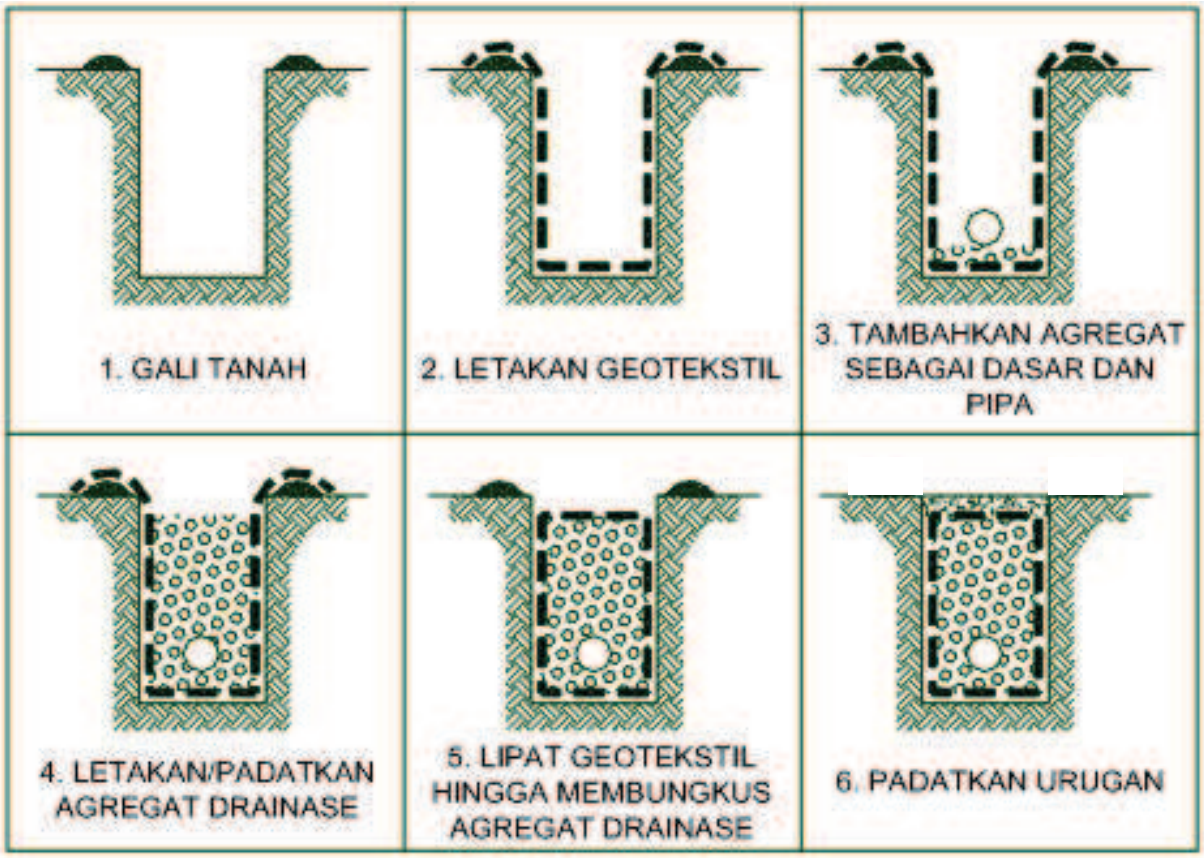
dipotong pada bagian atas parit setelah penempatan agregat drainase.

4. Pelaksanaan harus dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari kontaminasi terhadap geotekstil. Apabila geotekstil terkontaminasi, geotekstil harus diangkat dan diganti dengan material yang baru.
5. Geotekstil harus ditempatkan dalam arah searah mesin (*machine-direction*) dengan mengikuti arah aliran air. Geotekstil harus ditempatkan secara longgar (tidak tegang), namun tidak boleh ada kerutan atau lipatan. Geotekstil harus ditempatankan bersentuhan langsung dengan tanah sehingga tidak terdapat ruang kosong di antaranya.
6. Ujung-ujung untuk gulungan selanjutnya dan gulungan paralel dari geotekstil harus overlap minimum 0,3 m hingga 0,6 m pada penyalir, tergantung pada beratnya aliran hidrolis yang diantisipasi dan kondisi penempatan. Untuk kondisi aliran hidrolis yang tinggi dan pelaksanaan yang sulit, seperti pada parit-parit yang dalam atau terdapat batuan besar, tumpang-tindih (*overlap*) harus ditingkatkan. Untuk lokasi-lokasi proyek terbuka yang luas yang menggunakan penyalir dasar, tumpang-tindih (*overlap*) harus dijepit atau diangkur untuk menahan geotekstil pada tempatnya hingga penempatan agregat. Geotekstil bagian hulu (*upstream*) harus menumpang (*overlap*) diatas geotekstil bagian hilir.
7. Untuk mencegah geotekstil terkena sinar matahari, kotoran, kerusakan, dll, penempatan agregat harus dilakukan sesegera mungkin setelah penempatan geotekstil. Geotekstil harus ditutupi oleh minimal 0,3 m agregat lepas sebelum dilakukan pemadatan. Apabila digunakan lapis yang lebih tipis, mungkin dibutuhkan bahan dengan kriteria umur dan kinerja yang tinggi. Untuk parit-parit penyalir, minimal agregat setebal 0,1 m harus ditempatkan sebagai lapisan dasar di bawah pipa kolektor yang disediakan (jika diperlukan), dengan agregat tambahan yang ditempatkan hingga kedalaman minimum konstruksi yang dibutuhkan. Pemadatan dibutuhkan untuk menempatkan sistem drainase pada tanah alami (*the natural soil*) dan untuk mengurangi penurunan di dalam

penyalir. Agragat harus dipadatkan menggunakan peralatan getar hingga mencapai minimum 95% kepadatan berdasarkan Standar SNI 03-3423-1994 kecuali apabila parit dibutuhkan untuk penyokong struktural. Apabila dibutuhkan usaha pemadatan yang lebih besar, maka harus digunakan geotekstil yang memenuhi nilai-nilai yang terdapat pada kategori daya bertahan (*survivability*) tinggi dalam Tabel 2.

8. Setelah pemadatan, untuk parit penyalir, dua sisi yang menonjol dari geotekstil harus ditumpang-tindih pada bagian atas material drainase granular yang dipadatkan. Tumpang-tindih (*overlap*) minimum sepanjang 0,3 m direkomendasikan untuk memastikan lebar parit tercakup seluruhnya. Tumpang-tindih (*overlap*) penting karena ini melindungi agregat drainase dari kontaminasi permukaan. Setelah menyelesaikan tumpang-tindih (*overlap*), urugan harus ditempatkan dan dipadatkan hingga mencapai ketinggian akhir yang diinginkan.

Skema prosedur pelaksanaan untuk parit penyalir-bawah yang menggunakan lapis geotekstil ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 8 Prosedur pelaksanaan untuk penyalir-bawah yang menggunakan lapis geotekstil

Daftar Pustaka

DPU. 2009. Spesifikasi Geotekstil Filter untuk Drainase Bawah Permukaan, Separator dan Stabilisator. Departemen Pekerjaan Umum (DPU), Indonesia.

Holtz, R.D., Christopher, B.R., Berg, R.R,. 1998. *Geosynthetic Design and Construction Guidelines, Report No. FHWA HI-95-038*. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., USA, April 1998.

Shukla, S.K., dan Yin, J.H. 2006. Fundamentals of Geosynthetic Engineering. Taylor & Francis/Balkema. Belanda.

Koerner, Robert M. 2005. Designing with Geosynthetic, 5th Edition. Pearson Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Amerika.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dian Asri Moelyani, Elan Kadar, Rakhman Taufik, Dea Pertiwi dan Fahmi Aldiamar dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum yang telah memberikan masukan sebagai narasumber untuk menyusun modul pelatihan ini.